



# الانفجار الأعظم



المشروع القومي للترجمة

777

تأليف : جيمس إ. ليدسي
ترجمة : عزت عامر

# الانفجار الأعظم

تأليف : چيمس إ . ليدسى
ترجمة : عزت عامر




٢٠٠٥







al-maktabeh
www.
.com
مكتبة
المهتدين

المشروع القومى للترجمة

إشراف : جابر عصفور

- العدد : ٧٧٧
- الانفجار الأعظم
- چيمس إ . ليدسى
- عزت عامر
- الطبعة الأولى ٢٠٠٥

هذه ترجمة كتاب :

The Bigger Bang

by: James E. Lidsey



Published by the Press Syndicate of the

University of Cambridge



شارع الجبلاية بالأوبرا - الجزيرة - القاهرة ت ٧٣٥٢٣٩٦ فاكس ٧٣٥٨٠٨٤

El Gabalaya St. Opera House, El Gezira, Cairo

**Tel. :** 7352396 **Fax :** 7358084.




http://www.al-maktabeh.com
al-maktabeh
www.
.com
مكتبة
المهتدين

# المحتويات



# مقدمة المترجم

يصحبنا مؤلف هذا الكتاب جيمس ليدسى إلى جولة واسعة حول ما يحتويه كوننا الراهن الذى يمكننا رصده، مقدمًا تسابق العلماء فى تطوير أدوات الرصد نحو مزيد من اكتشاف تفاصيل هذا الكون الشاسع، وفى الحصول على دلائل لإثبات نظرياتهم. والهدف الأساسى من الكتاب العودة فى الزمن إلى الخلف حتى لحظة نشوء هذا الكون على هيئة مفردة بالغة الصغر انفجرت ثم تضخمت فى زمن بالغ الصغر. و المسافات الشاسعة فى الكون أمر شائع ، حتى لو اقتصر كلامنا على المجموعة الشمسية المحدودة الحجم مقارنة بالحجم الفعلى للكون الذى يمتد قطره عشرة مليارات سنة ضوئية على الأقل. لكن حتى هذه المسافات التى يصعب تصورها، تصبح بالغة الصغر إذا قارناها بالمقاييس الفعلية التى من المحتمل أنها كانت موجودة فى الكون المتضخم. لذلك فالنتيجة التى يخرج بها المؤلف فى نهاية الكتاب أن "الانفجار" الذى حدث فى بداية ظهور الكون قد يكون "أعظم" بكثير مما تصورناه سابقًا، من هنا يحمل الكتاب عنوان "الانفجار الأعظم" وليس "الانفجار العظيم" كما تعودنا.

وحكاية الانفجار العظيم تتناولها كثير من الكتب، لكن هذا الكتاب يقدم جديداً فى مجال تبسيط الأفكار العلمية الأساسية حتى تناسب الأعمار الشابة المقبلة على التزود بالثقافة العلمية. وللوصول إلى هذا الهدف يستعين الكاتب بضرب الأمثلة الواضحة اعتماداً على المعلومات العلمية البسيطة لكى يوضح أكثر النظريات العلمية تعقيداً، ويسير مع القارئ خطوة خطوة بدون إرهاقه بالبراهين العلمية المتخصصة، فيراكم المعلومة تلو المعلومة حتى يفاجأ القارئ بأنه يستوعب الأفكار المركبة والمعقدة بسلاسة نادرة.

ومن أمثلة اتباع الكاتب أسلوبًا بسيطًا للتعبير عن الأفكار العلمية العميقة، تصور الإلكترونات المقيدة على مدارات محددة حول نواة الذرة على أنها تشبه حجرًا نحمله على درجة سلم فترتفع طاقة وضعه كلما صعدنا به، كما لو كانت الإلكترونات تصعد سلمًا ذريًّا.

واستحالة رصد الجسيمات التقديرية التى تنشأ فى الفراغ ثم تتلاشى يتم عرضها بشكل كوميدى من خلال مطاردة بين شرطى وشخص أبله يظهر خلف الشرطى ثم يختفى بمجرد أن يتلفت الشرطى خلفه. فضابط الشرطة يمثل الشخص الذى يجرى عملية قياس ويمثل الأبله الجسيم التقديرى.

والجسيم والجسيم المضاد له مثلهما مثل خصمين فى مبارزة قتال بالمسدسات، وبدلا من أن يقف الخصمان بحيث يبتعد كل منهما عن الآخر، فإن الجسيمين يظلان أقرب ما يكونان إلى بعضهما وتكون النتيجة إصابتهما معًا عندما يطلقان مسدسيهما.

وحول مصير الكون، هل سيتمدد بلا نهاية ؟ أو سيبدأ فى التقلص من جديد عند حد معين؟ يمثل الكاتب الكون بكرة تم قذفها عاليًا فى الهواء، حيث الارتفاع الذى تصل إليه الكرة فوق سطح الأرض يمثل حجم الكون، لذلك فإن الارتفاع الأكبر يمثل كونًا أكثر ضخامة. وتتطابق الكرة التى ترتفع مع الكون الذى يتمدد. والكون الذى يتقلص يمثل الكرة التى تسقط. وتصل الكرة إلى ارتفاع أكبر لو تم إعطاؤها مزيدًا من الطاقة الحركية بإطلاقها من مدفع مثلاً. فإذا كان المدفع ذا قوة كافية ستتغلب الكرة تمامًا على جاذبية الأرض، لأن طاقتها الابتدائية كبيرة جدا. وفى هذه الحالة لن تعود الكرة أبدًا إلى سطح الأرض. أى أن ما يحدد مصير الكون هو كتلة المادة فيه ، فإذا كانت قادرة على جذبه بحيث يتقلص فإن مصيره إلى الانهيار، أما إذا كانت عاجزة عن ذلك فإنه يظل يتمدد إلى الأبد.

ويمثل أيضًا حالة تضخم الكون فى بدايته المبكرة وظهور الجسيمات التى نعرفها حاليًا، بكرة أخرى تتدحرج على منحدر له حافة تنتهى إلى قاع واد، وتتحول طاقة

الوضع لديها إلى طاقة حركة حتى تصل إلى حافة السهل ثم تسقط فى قاع الوادى. وتمثل طاقة وضع الكرة كثافة طاقة الكون. وعندما تكون الكرة على السهل، تظل طاقة الوضع لديها ثابتة تقريبًا، رغم أنها تنخفض قليلاً كلما تدحرجت الكرة ببطء نحو الوادى. وهكذا فإن طاقة الكون تظل ثابتة تقريباً، وهذا ما يؤدى إلى التضخم. وينتهى التضخم عندما تصل الكرة إلى حافة السهل وتندفع إلى أسفل نحو القاع. ويمثل تحول طاقة وضع الكرة إلى طاقة حركية تحول طاقة الكون إلى جسيمات. ويتم إطلاق كمية ضخمة من الطاقة فى هذه العملية.

وهذا ما يفعله الكاتب أيضًا عندما يعرض ما يحدث لنجم بدأ ينهار، فيقدم تصوراً للإلكترونات فى هذا النجم كما لو كانت كرات زجاجية صغيرة موجودة فى كيس. وفى هذا المثال يناظر انهيار النجم انكماش الكيس. وتتقارب الكرات كلما نقص حجم الكيس، وفى آخر الأمر تعجز الكرات عن الحركة بحرية لعدم وجود مكان كاف فى الكيس. وتنحشر الكرات فى بعضها البعض، وينتج ضغط شديد القوة إلى الخارج ، ويصبح من الصعب تمامًا حدوث مزيد من الانكماش فى الكيس. وتسلك الإلكترونات داخل النجم المنهار بطريقة مماثلة للكرات داخل الكيس. وعند درجة معينة من الانهيار لن يكون هناك ببساطة مكان كاف لكى تتحرك الإلكترونات خلاله.

وهذه الطريقة لعرض أحدث المكتشفات العلمية ببساطة مناسبة للتعليم المتوسط، بالغة الأهمية بالنسبة لنا فى مصر والدول العربية عمومًا، حيث لا يمكن أن تنتشر الثقافة العلمية ويرتفع مستوى البحث العلمى بالتالى والتقدم التقنى أيضًا، إلا إذا أصبحت هذه الثقافة متاحة لكل الأعمار بما يناسب المستويات التعليمية المختلفة، حتى تتسع قاعدة القادرين على فهم أحدث المنجزات فى المجال العلمى الذى أصبح يشهد تسارعًا غير مسبوق فى التطورات المتلاحقة، التى يحتاج حتى المتخصصين إلى بذل مزيد من الجهد لمواكبتها.

**عزت عامر**



## مقدمة ناشر الأصل الأجنبى

# الانفجار الأعظم

ظل البشر عبر العصور مفتونين بكل ما يتعلق بأصل الكون والإنسان، وخلال السنوات القليلة الماضية بدأ العلماء فى التوصل إلى إجابات عن بعض الأسئلة الأساسية فيما يتعلق بأصل الكون وتطوره المبكر.

ويقدم هذا الكتاب مدخلاً جديداً جذاباً يسهل فهمه عن التصورات التى تدور حول هذا الموضوع.

ويقودنا جيمس ليدسى مؤلف هذا الكتاب، مستخدمًا التشابهات الجديدة والواقعية برشاقة ، فى رحلة إلى بداية علم الكون، فنرحل خطوة خطوة عائدين فى الزمن عبر كتاب ليدسى حتى نصل إلى الأصل المبكر للكون. وهناك نلقى نظرة على الأفكار الجذابة التى يعمل العلماء حاليًا على تطويرها لتفسير ما حدث خلال جزء من مليار مليار مليار مليار من الثانية منذ نشأة الكون، ألا وهى الفترة التضخمية. وخلال هذه الرحلة نتلقى توضيحات جلية حول عدة موضوعات مهمة جذابة فى مجال علم الكون النظرى، تتضمن أحدث الأفكار حول الأوتار الفائقة، والأكوان المتوازية، والمصير النهائى للكون الذى نعيش فيه. ونكتشف أيضًا كيف أن عالم الأشياء بالغة الصغر (الذى تتعامل معه فيزياء الجسيمات الأولية) وعالم الأشياء بالغة الكبر (الذى يتعامل معه علم الكون) مترابطان ترابطًا لا ينفصم بواسطة الأحداث التى نسجتهما معًا فى اللحظات القليلة الأولى من تاريخ الكون.

وتتحول قراءة هذا الكتاب إلى متعة خالصة بفضل التشابهات الجلية والنثر الواضح الموجز واللغة الدقيقة، التى تتيح للقارئ العادى عرضًا بسيطًا لبعض من أعمق الأفكار وأكثرها تعقيدًا حول أصل الكون الذى نعيش فيه ، والذى يشهد حاليًا جدلاً واسعًا بين أفضل العلماء على المستوى العالمى.





# تقديم

نعيش فى كون هائل الاتساع، وحتى لو أمكننا السفر عبر الكون بسرعة الضوء فإن هذه الرحلة قد تستغرق عشرة مليارات سنة على الأقل، فلماذا يكون الكون على هذه الدرجة من الاتساع؟ وهل كان على هذه الضخامة دائمًا أم كان أصغر من ذلك فى الماضى البعيد؟ وإذا كان أكثر صغرًا فى البداية فإلى أية درجة وصل صغره؟ هل كان هناك زمن عندما كان حجم الكون متلاشيًا؟

ويمكننا أن نلقى أسئلة تتعلق بكل هذه الأمور فيما يخص المادة الموجودة فى الكون. ما سبب أن الكون ليس خاليًا؟ من أين أتت الذرات التى تتكون منها أجسامنا؟ ومتى ظهرت هذه الذرات؟

تقودنا مثل هذه الأسئلة حتمًا إلى أصل الكون، وهل له بداية محددة، أم أنه كان موجودًا دائمًا؟ وإذا كانت له بداية ، فهل من المنطقى أن نتحدث عن ما حدث قبل هذه البداية؟ ويأتى قبل كل ذلك، ما الذى تسبب فى وجود الكون؟

وهدف هذا الكتاب الإجابة عن مثل هذه الأسئلة. وحيث أن أصل وجودنا مرتبط بأصل الكون فى مجمله، فإننا ندرس بشكل غير مباشر ماضينا الخاص عندما نستقصى ما حدث فى بداية نشأة الكون.

وسوف نرى كيف أن بنية الكون ترتبط بشكل خاص ببنية أصغر الجسيمات الأولية، وأن هذه العلاقة بين عالم الأشياء بالغة الضخامة وعالم الأشياء بالغة الصغر قد ظهرت حتى خلال الثانية الأولى من تاريخ الكون. وعلى نحو لافت للنظر نجد أن الأحوال التى كانت شائعة عندما لم يكن عمر الكون يتجاوز جزء من الثانية، قد تكون

السبب فى تكوّن المجرات والنجوم والكواكب. وأصبح وجودنا بعد مليارات من السنوات من هذه البداية معتمد بشكل مباشر على ما حدث خلال هذا الزمن المبكر جداً.

ويقابلنا طوال قراءتنا للكتاب أرقام ضخمة جداً وأرقام بالغة الصغر، والطريقة الميسرة أن نقدم هذه الأرقام على هيئة العدد عشرة بأس يناظر الرقم المعنى، من هنا فإن المليون (١٠٠٠٠٠٠) يصبح عشرة أس ستة ، حيث تسبق الواحد ستة أصفار. وتتم كتابته على هيئة $١٠^{٦}$ ، وتتم كتابة البليون ( وهو ألف مليون )(*) ، على هيئة $١٠^{٩}$ ومليون مليون أى ترليون يُكتب على شكل $١٠^{١٢}$. والأرقام بالغة الصغر تُكتب أيضًا بطريقة مماثلة، مثال لذلك يكون الجزء من المليون وهو واحد مقسوم على مليون $١٠^{-٦}$ وواحد من مليار $١٠^{-٩}$ ، وهكذا فيما يخص الأرقام الأخرى بالغة الصغر.

ونجد أيضًا فى هذا الكتاب إحالات إلى نطاق واسع من درجات الحرارة، فإذا لم تتم الإشارة إلى مقياس محدد لدرجات الحرارة فإن هذا يعنى أننا نقيسها بالدرجات المئوية، وأقل درجة حرارة ممكنه هى – ٢٧٣,١٦ درجة مئوية، وهى التى يُطلق عليها الصفر المطلق. ودرجة حرارة الفضاء الخارجى مثلاً، نحو ثلاث درجات فوق الصفر المطلق.




(*) نسمى البليون فى الترجمة هنا المليار نظراً لشيوع استخدام هذا المصطلح فى بلادنا . (المترجم)

# تنويه بالفضل

يسعدنى أن أشكر تونى ماسون وأندرو ليدل لتشجيعهما لى خلال المراحل الأولى لإعداد هذا الكتاب، ولتيرى أرتير وريتشارد فريوين وإمون كيرينس لمساعدتى فى تجهيز الأشكال، وبيتر كوليس وأميتابها لاهيرى للمناقشات المفيدة التى دارت بينى وبينهم، ولجارفيس براند ونيك هيل وجون ليدسى وكيث مايليس وريزا تافاكول لقراءتهم المسودة. وأحب أن أقدم شكرى أيضًا لباربارا للصداقة الحميمة التى تربط بيننا.





# الفصل الأول

# بنية الكون

بدأت تتبلور من الأبحاث التى أجريت خلال العقود القليلة الماضية، صورة مقبولة تصف الماضى السحيق للكون. وتتمثل وجهة النظر الراهنة فى أن الكون ظهر منذ نحو مليار عام على هيئة "كرة نارية" هائلة متفجرة، خلال حدث يُطلق عليه الانفجار العظيم.

وسوف نناقش بعض السمات المهمة للانفجار العظيم فى هذا الكتاب، وسوف نفحص بشكل خاص السؤال الرئيسى الذى يدور حول مدى ضخامة هذا الحدث. وقبل أن نبدأ رحلتنا عائدين إلى أصل الكون، يجب علينا أن نتعرف على موقعنا الراهن فيه، لذلك دعنا نشرع فى جولة مختصرة بين معالم الكون.

تنتمى الأرض إلى مجموعة من الأجرام التى يُطلق عليها اسم المجموعة الشمسية، وأهم جرم فى هذه المجموعة وأكبرها هو الشمس. وتدور حول الشمس تسعة كواكب من ضمنها الأرض، ويعتبر بلوتو هو الكوكب الأكثر بعداً عن الشمس، ويُنظر إلى مدار بلوتو على أنه يمثل الحافة الخارجية للمجموعة الشمسية.

ومن المعروف أن أقرب جرم مهم للأرض، وهو القمر، يبعد عنها نحو أربعمائة ألف كيلو متر، ولمجرد المقارنة علينا أن نعرف أن المسافة بين الأرض والشمس تصل إلى نحو مائة وخمسين مليون كيلو متر، بينما متوسط المسافة بين الشمس وبلوتو ستة مليارات كيلو متر تقريباً.

ماذا يوجد بعد المجموعة الشمسية ؟ إذا واصلنا رحلتنا متجاوزين بلوتو، يظهر بوضوح الاتساع الهائل للفضاء الخالى، ولتوضيح ذلك علينا أن نعرف أن أقرب نجم للشمس، ويُطلق عليه اسم الأقرب القنطورى[1]، يبعد نحو أربعين ترليون كيلو متر عنها.

وتقابلنا هنا مشكلة أساسية حتى ونحن مازلنا فى المرحلة الأولى من رحلتنا: فعندما نصف الكون كيف يمكننا التعامل مع المسافات الشاسعة التى يحتوى عليها؟ لقد تحدثنا توًا عن مليارات الكيلو مترات قبل أن نغادر تخوم المجموعة الشمسية، وهى مسافة فى حد ذاتها يصعب تخيلها، وفوق ذلك مطلوب منا الآن أن نتوسع فى مقياس المسافات ليتضمن ترليونات الكيلومترات قبل أن نصل إلى أقرب نجم.

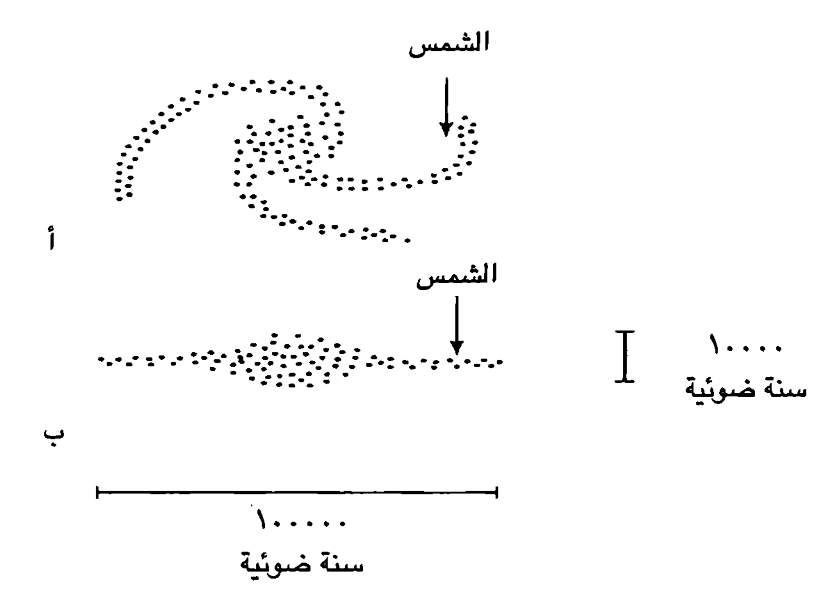
لذلك وجد علماء الفلك أنه لسهولة تصور هذه المقاييس الضخمة أن تُقاس المسافة بالسنة الضوئية، وهى المسافة التى يقطعها الضوء فى سنة واحدة وهو ينطلق بسرعة ثلاثمائة ألف كيلو متر فى الثانية. وبالأرقام تساوى السنة الضوئية تسعة ونصف ترليون كيلو متر. والمسافة بين الأرض والشمس نحو ثمانى دقائق ضوئية، وهو الزمن اللازم للضوء لكى ينطلق من سطح الشمس ليصل إلينا هنا على الأرض. والمسافة بين الشمس ونجم الأقرب القنطورى تتخطى أربع سنوات ضوئية.

وتثبت نماذج القياس فائدتها أيضًا عندما نقارن المسافات بين الأجرام المختلفة فى الكون. دعنا نرى ما يحدث إذا قلَّصنا كل مقاييس المسافة بحيث يماثل نصف قطر الأرض نصف قطر ساعة معصم عادية. فى هذه الحالة يكون نصف قطر الشمس مماثلا لطول إنسان متوسط الطول، والمسافة بين الأرض والشمس تكون عندئذ أربعمائة متر، ويكون بعد بلوتو عنا نحو خمسة عشر كيلومترًا ، ويظل أمامنا مسافة نحو مائة ألف كيلومتر لنصل إلى الأقرب القنطورى، وتماثل هذه الرحلة الدوران حول العالم مرتين ونصف مرة.

وتعتبر شمسنا والأقرب القنطورى مجرد نجمين من النجوم الكثيرة التى تنتمى إلى مجرة درب التبانة، وإذا كان فى نيتنا الرحيل خارج مجرتنا لكى نراها من أعلاها،

(١) الأقرب القنطورى Proxima Centauri هو أقرب نجم ثابت منا، ويبعد عنا ٤,٢ سنة ضوئية، وهو ضمن كوكبة قنطورس . (المترجم)

فسـوف نجد أنها تشـبه على الأرجح عجلة عمـــلاقة مثل تلك الموضحة فى الشكل ١- ١ أ . ويحتوى درب التــبانة على عـــدد من الأذرع الحــلزونية ترتبط بمنطقة مركزية، وتتكون هذه الأذرع من نجـــوم كثيرة. وعند النظر إلى المجرة من أحد جوانبـها نجــدها تشبه قرصًا ذا انتـفـاخ فى مـركـزه، كـمـا هو مـوضـح فى الشكل ١ - ١ ب ونصف قطر هذا الانتـــفـاخ حـــوالى عـشرة آلاف سنة ضوئية، أمـا عن القرص نفسـه فـيصل قطره إلى مـائـــة ألف ســـنة ضـوئية على الأقل. ويمكن رؤية القرص فى ليلة صافية لا يظهر فيها القمر ويشبه سحابة رقيقة تمتد عبر السماء، وهى على هيئة منتشرة[٢]، وبالفعل يمكن أن ننسبها إلى الكلمة الإغريقية جالاكتيكوس، التى تعنى اللبنى.




الشكل ١ - ١ أ: مجرة درب التبانة عند النظر إليها من أعلى، وتحتوى على منطقة مركزية كروية وعدد من الأذرع الحلزونية، التى تتكون من نجوم. وموقع الشمس مشار إليه بالقرب من أحد هذه الأذرع. وتقع الشمس على بعد نحو ٢٨٠٠٠ سنة ضوئية من مركز المجرة. (ب) المجرة عند النظر إليها من أحد جوانبها، وأوسع عرض لها يبلغ نحو ١٠٠٠٠٠ سنة ضوئية.

(٢) مثل اللبن المسكوب أو التبن المتناثر، من هنا يتم تسميتها بمجرة درب اللبانة أو مجرة درب التبانة (المترجم).

توجد أيضاً هالة من النجوم بالغة القدم تحيط بمركز المجرة، وتمتد هذه الهالة فى كل الجهات بمسافات تصل إلى نحو خمسين ألف سنة ضوئية. وإجمالى عدد النجوم التى تحتوى عليها المجرة يتجاوز مائة مليار نجم، وتقع شمسنا على بعد نحو ٢٨٠٠٠ سنة ضوئية من مركز المجرة.

ونحتاج هنا إلى مزيد من تقليص المقياس يتيح لنا مقارنات على مستوى المجرة، فدعنا نتصور انكماشاً للمجموعة الشمسية بكاملها كما لو كان حجمها مماثلاً لحبة رمل عادية (ولا تنسى أن الحجم الفعلى للمجموعة الشمسية يصل إلى نحو ستة مليارات كيلومتر). عندئذ لا يتجاوز بعد أقرب نجم إلينا، وهو الأقرب القنطورى، متراً واحداً عن حافة المجموعة الشمسية. وتصبح المسافة بين المجموعة الشمسية ومركز المجرة مماثلة لارتفاع قمة جبل إفرست. وعند مقارنة المجموعة الشمسية ببقية المجرة، يمكننا تصور متسلق جبال يصل إلى قمة إفرست وفى جيبه حبة رمل.

نصل بذلك إلى صورة إجمالية حول أن الشمس والنجوم الأخرى فى مجرتنا تبعد عن بعضها البعض بمسافات تصل إلى عدة آلاف من السنوات الضوئية، ورغم هذه المسافات بالغة الاتساع، تظل هذه النجوم منجذبة إلى بعضها البعض بواسطة قوى الجاذبية، وبسبب هذه الجاذبية تظل النجوم مقيدة فى المجرة.

ما الذى نجده إذا رحلنا وراء المناطق المجاورة لدرب التبانة؟ فيما يتعلق برحلتنا عبر الكون فإن الأمر مازال فى بدايته، وسوف يواجهنا من جديد الحجم الهائل للفضاء الخالى. ولن نقابل جرماً آخر مهماً حتى نقطع فى انطلاقنا إلى الخارج ١٧٠٠٠٠ سنة ضوئية أخرى، وبعد هذه المسافة نجد مجرة صغيرة يطلق عليها اسم سحب ماجلان الكبرى[٣].

وهناك الكثير من المجرات الأخرى إضافة إلى سحب ماجلان الكبرى ودرب التبانة، ويحتوى الكون الذى يمكن رصده إلى أكثر من مائة مليار مجرة، ذات أشكال

(٣) سحب ماجلان Magellanic Clouds : المجرتان الصغيرتان الأقرب إلى درب التبانة . (المترجم)

وأحجام كثيرة، والكثير منها حلزونى الشكل مثله مثل درب اللبانة تمامًا، رغم أن الغالبية ليس لها نفس هذا الشكل، ويطلق عليها المجرات "الإهليلجية" لأن شكلها بيضاوى. ويشيع فى هذه المجرات الإهليلجية وجود النجوم التى قد تعود أعمارها إلى عشرة مليارات سنة.

ورغم أن المجرات توجد فى مواقع متباعدة فى الكون كله، فإنها لا تسلك كما لو كانت أشياء معزولة عن بعضها البعض، حيث تربط قوة الجاذبية فيما بينها فتتجمع معًا على هيئة مجموعات، وقد يكون عدد المجرات فى مجموعة واحدة قليلاً جداً، لكن هذا العدد قد يصل إلى بضعة آلاف، وقد تمتد مجموعة مجرات نموذجية عبر ملايين من السنوات الضوئية. ومثال لذلك مجرة درب التبانة فهى تنتمى إلى مجموعة يطلق عليها **المجموعة المحلية**، وأكبر مجرة فى هذه المجموعة هى المرأة المسلسلة، وهى مجرة حلزونية تبتعد أكثر من مليونى سنة ضوئية عن درب التبانة. ويصل اتساع المجموعة المحلية إلى نحو ستة ملايين سنة ضوئية، أى نحو ستين ضعف حجم مجرتنا.

وتتجمع مجموعات المجرات فى مجموعة عملاقة تمتد عبر مئات الملايين من السنوات الضوئية. وتنتمى مجموعتنا المحلية إلى ما يعرف باسم **المجموعة العملاقة المحلية**، وفى مركزها مجرات تعرف باسم مجموعة العذراء ، التى تحتوى على آلاف من المجرات، وتبعد نحو خمسين مليون سنة ضوئية عن مجموعتنا المحلية. وعلى نطاق واسع يمكن اعتبار الكون بنية متسلسلة تصاعدياً من المجرات ومجموعات المجرات والمجموعات العملاقة من المجرات.

وأخيراً فإن أكثر الأشياء بعداً التى تم رصدها حتى الآن هى المعروفة باسم شبه النجم أو كوازار[٤]، وتبث الكوازارات كمية هائلة من الطاقة، لكن مصدر هذه الطاقة لم يتحدد بعد، ويعتقد أنها تبعد مائة مليار سنة ضوئية على الأقل عنا، وتمثل هذه المسافة حجم الكون الذى تم رصده.

(٤) كوازار Quasar هو اختصار من الإنجليزية لاسم "المنابع الراديوية الشبيهة بالنجوم" . (المترجم)

ويقدم الجدول ١ - ١ ملخصًا لبعض مقاييس المسافات النموذجية. فما الذى اكتشفناه خلال جولتنا هذه حول الكون؟ لقد عرفنا أن كوكبنا يدور حول نجم متوسط يقع فى المناطق الخارجية من مجرة درب التبانة، وأن مجرتنا هذه تتكون من مائة مليار نجم على الأقل ، وتعتبر واحدة من مئات المليارات من المجرات التى يتضمنها الكون المرئى. ورغم ميلنا إلى الاعتقاد بأن الكواكب الأخرى فى مجموعتنا الشمسية على أبعاد شاسعة منا، فإن المجموعة الشمسية فى مجملها تعتبر بالغة الصغر مقارنة بمجرتنا، فما بالك إذا قارناها ببقية الكون.

جدول ١ - ١ : مقاييس مسافات نموذجية فى الكون. والرمز سض يعنى سنة ضوئية ويماثل ٩,٥ ترليون كيلومتر .

| الأجرام | المسافة |
| --- | --- |
| الأرض - القمر | ٤ × $١٠^{٥}$ كم |
| الأرض - الشمس | ١,٥ × $١٠^{٨}$ كم |
| قطر المجموعة الشمسية | ٦× $١٠^{٩}$ كم |
| أقرب نجم إلى الشمس | ٤,٣ سض ( ٤ × $١٠^{١٣}$ كم ) |
| قطر درب التبانة | $١٠^{٥}$ سض ( $١٠^{١٨}$ كم ) |
| مجموعة مجرات | > - $١٠^{٦}$ سض ( $١٠^{١٩}$ كم ) |
| حجم الكون | > - $١٠^{١٠}$ سض ( $١٠^{٢٣}$ كم ) |

بعد هذا التصور المتسع، يمكننا الآن أن نواصل بحثنا حول بنية وتاريخ الكون بمزيد من التفصيل. تُعرف دراسة الكون فى مجمله **بعلم الكونيات**[٥]، والهدف الأول لعالم الكونيات أن يعرف كيف تطور الكون عبر الزمن حتى وصل إلى حالته الراهنة، ثم عليه بعد ذلك أن يتنبأ بما سيكون عليه الكون فى المستقبل. ومن الأسئلة التى شغلت

(٥) الكوزمولوجيا أو علم الكونيات: cosmology هو علم يبحث فى أصل الكون وبنيته العامة وعناصره ونواميسه . (المترجم)

كثيراً من علماء الكونيات فى السنوات الأخيرة السؤال الذى يدور حول كيفية تأثر البنية الراهنة للكون بالعمليات الفيزيائية التى جرت خلال الانفجار العظيم.

ويستطيع علماء الكونيات العودة بطريقة متدرجة فى الزمن بسبر أعماق الكون. فالضوء الصادر عن مجرة بعيدة جداً عليه أن ينتقل مسافة أبعد لكى يصل إلينا على الأرض مقارنة بضوء يأتى إلينا من مجرة قريبة نسبيًّا، وهذا يعنى أن الضوء يقطع مسافة أكبر لكى يكمل رحلته آتيًا من مجرة بعيدة. وكثير من المجرات التى نرصدها على بعد شاسع ، حتى أن الضوء الصادر عنها يستغرق مليارات من السنوات ليصل إلى مجموعتنا الشمسية. من هنا فإن الصور التى نلتقطها لهذه المجرات لا تعبر عن الحالة الراهنة لهذه المجرات، لكنها بالأحرى صور لما كانت عليه فى الماضى.

ويتصف الضوء الصادر عن المجرات البعيدة بأن له بعض السمات الخاصة، كما سنرى فى الفصل الثالث، وتشير هذه الصفات إلى أن المجرات تتحرك مبتعدة عن بعضها البعض، وهذه النتيجة مهمة جدا لأنها تعنى أن الكون يتمدد فى مجمله. وهذا هو الواقع، لأن ملاحظاتنا توضح أن الكون ظل يتمدد خلال عشر مليارات سنة على الأقل.

دعنا إذن ندرس بتوسع أكثر ما يعنيه هذا التمدد. يمكننا أن ننظر إلى المسافات الفيزيائية فى الكون على أساس المسافة بين جسيمين مفترضين. افترض أن جسيم ، منهما يوجد فى مجرة درب التبانة والثانى فى مجرة المرأة المسلسلة المجاورة لنا، يمكن فى هذه الحالة اعتبار تمدد الكون على أنه زيادة فى المسافة التى تفصل بين هذين الجسيمين، وهذا ما يجب أن نضعه فى اعتبارنا عند الحديث عن زيادة فى حجم الكون.

وكلما عدنا إلى الخلف فى الزمن، يجب أن تكون المسافة بين الجسيمين أصغر إلى حد ما مما هى عليه الآن، وبذلك نحصل على أول فكرة ذكية حول ما كان عليه الكون فى الأزمنة الأكثر تبكيراً. ومن المنطقى فى هذه الحالة أن نتوقع أن الكون يجب أن يكون أصغر فى بعض مراحل تاريخه مقارنة بما هو عليه الآن. وينتج عن ذلك أن

المجرات كانت ولابد أقرب إلى بعضها البعض مقارنة بوضعها الراهن، وأن كثافة المادة ودرجة حرارتها كانتا بالتالى أعلى بكثير. فإذا كنا جاهزين الآن للتغلغل بما فيه الكفاية فى الماضى، فإننا نتوقع أن تكون المسافة الفاصلة بين الجسيمين اللذين نتحدث عنهما أصغر بكثير من حجم المجرة العادية. وعند هذه الفترة من الزمن المبكر جدا لم تكن المجرات المعروفة لدينا الآن قد وُجدت بعد، وكانت كل المادة الموجودة فى الكون تسلك كما لو كانت مائعاً ذا حرارة بالغة الارتفاع وذا كثافة مفرطة .

ويصف نموذج الانفجار العظيم الكون عندما كان فى هذه المرحلة المبكرة، وقد أصبح عمره مجرد بضع ثوان، وسوف نقدم أهم ملامح هذا النموذج مختصرة فى الفصل السابع. وسوف نرصد أيضًا ما حدث للكون قبل انقضاء الثانية الأولى. وفى الفصلين الثامن والتاسع سيقابلنا جدل واسع حول القول بأن الكون قد واجه فترة تمدد بالغ السرعة عندما كان عمره لا يتجاوز ١٠ $^{-٣٥}$ ثوانٍ ، وفى ذلك الوقت كانت المادة الموجودة حالياً فى الكون المرئى (وهو نحو مائة مليار مجرة) منسحقة فى منطقة فراغ أصغر بكثير من تلك التى تحتلها ذرة عادية. ويضاف إلى ذلك أن درجة حرارة الكون كانت مرتفعة على نحو استثنائى، وأكبر عدة مرات من درجة الحرارة فى مركز الشمس.

ويُشار إلى فترة التمدد هذه بأنها انتفاخ أو تضخم، لأن حجم الكون ازداد بمعدل بالغ الضخامة، وحدث ذلك بسرعة فائقة حقا، فقد كان الزمن الذى استغرقه هذا التمدد السريع بالغ الصغر، على الأقل كما تقدمه أبسط أنواع النظريات، ومن المحتمل أن يكون قد استمر أقل من ١٠ $^{-٣٣}$ ثوانٍ منذ بدأ حتى انتهى.

وإذا كان هذا التضخم يمدنا بصورة معقولة لما حدث للكون فى هذه الفترة الزمنية المبكرة جداً، فإننا نحتاج إلى معرفة سبب تمدد الكون بهذه السرعة، وفى الفصول الخمسة التالية سوف نقدم الخلفية الضرورية لمناقشة اللحظات الأولى المبكرة فى تاريخ الكون. ثم نواصل بعد ذلك فى بقية الكتاب مناقشة ما حدث للكون خلال وجوده عند ال ١٠ $^{-٣٥}$ ثوانٍ. ويقودنا ذلك إلى بعض الأفكار التى تميل إلى الحدس، والتى تم التوصل إليها حديثًا حول أصل الكون.

ما هـو الموضـع المناسب الذى نبدأ منه؟ قد يكون من المناسب أن نبـدأ من مكان ما أقرب نسبيا إلى موطننا، وليكن إذن مكان ما داخل المجموعة الشمسية، وحيث أن الشمس هى الشىء الأكبر فى هذه المجموعة يمكننا أن نبدأ بمناقشة خصائصها. وأهم سمات الشمس أنها تضىء، فدعنا إذن نتساءل حول سبب تألقها.





## الفصل الثانى

# لماذا تتألق الشمس

يعتبر الضوء مثالاً للإشعاع الكهرومغناطيسى، ويمكن تصور هذا الإشعاع على أنه موجة تنتقل فى الفراغ. ورغم أن الضوء ينتقل دائمًا بسرعة ثابتة، فإن طول موجته، وهى المسافة بين قمتين متتاليتين أو قاعين، ليست واحدة فى كل الأحوال، حيث يكون للأنواع المختلفة من الضوء أطوال موجات مختلفة. وتظهر هذه الاختلافات فى طول الموجة على هيئة اختلاف فى الألوان فى الطيف المرئى. مثال لذلك ، فإن الضوء الأحمر له طول موجة أطول قليلاً من طول موجة الضوء الأزرق. والضوء الآتى إلينا من الشمس هو خليط من كل الألوان المختلفة.

وتوجد أيضًا أشعة كهرومغناطيسية لها طول موجة أطول أو أقصر من طول الموجات فى الضوء المرئى، مثال لذلك أشعة جاما أو الأشعة الراديوية (اللاسلكية). وتحمل كل أنواع الأشعة الكهرومغناطيسية كمية محددة من الطاقة، فشعاع جاما يحمل كمية كبيرة من الطاقة بينما تحمل الموجة الراديوية كمية أقل نسبيا من الطاقة.

ومن بعض الوجوه، يمكننا تصور الطاقة على أنها تتمركز حول قمم وقيعان الموجة، من هنا فإن طاقة نوع معين من الأشعة الكهرومغناطيسية يتحدد بطول الموجة، فطول الموجة الأقصر يناظر الطاقة الأعلى وبالعكس. وينتج ذلك عن أن طول الموجة الأقصر يعنى أن مزيداً من القمم والقيعان تصل خلال فترة زمنية محددة، لذلك يتم استقبال مزيد من الطاقة.

وللضوء خاصية بالغة الأهمية تتمثل فى أنه يغير اتجاه حركته خلال انتقاله بين وسطين تختلف كثافتهما، وكثير مما نعرفه حالياً حول التركيب الداخلى للنجوم مستنتج مباشرة من هذه الخاصية. وبالفعل ينحرف الضوء عن مساره الأصلى خلال مروره من وسط إلى آخر. والذى يجعل هذه الظاهرة مهمة بالنسبة إلينا أن المقدار الدقيق لهذا الانحراف يمكن التوصل إليه من خلال طول موجة الضوء. ومثال لذلك، فإن انحراف الضوء الأحمر يختلف عن انحراف الضوء الأزرق ذى الموجة الأقل طولاً، وتكون النتيجة أن يسير اللونان الأحمر والأزرق فى مسارين مختلفين. ويتفرق إشعاع الضوء المكون من أشعة ذات أطوال أمواج مختلفة إلى ألوانه المفردة بسبب التغير فى الكثافة.

ويماثل ضوء الشمس هذا الخليط من الألوان المختلفة ويمكن فصلها عن بعضها البعض بهذه الطريقة، وبالفعل يحدث ذلك بالضبط عند ظهور قوس قزح فى السماء خلال سقوط وابل من المطر، حيث نرى قوس قزح عند مرور ضوء الشمس فى الجو من خلال قطرات الماء الأكثر كثافة، ثم عودته من جديد إلى الجو.

وتحدث ظاهرة مماثلة تماماً عندما يمر ضوء الشمس من خلال منشور إلى جزء من فيلم فوتوغرافى، وبعد معالجة الفيلم تشبه الصورة الفوتوغرافية الناتجة صورة قوس قزح. ومع ذلك فإن نظرة متفحصة للصورة توضح وجود شرائط سوداء. وتكون هذه المناطق رقيقة حتى أنها تبدو كما لو كان شخصاً قد رسم خطاً رأسياً على الصورة بقلم أسود، ويمكن أيضاً رؤية خطوط أشد سطوعاً. فما سبب وجود هذه الخطوط السوداء والساطعة فى الصورة؟

دعنا نركز على الخطوط السوداء، لأن كل لون فى الصورة يناظر ضوءاً له طول موجة محدد، ويعنى وجود خطوط سوداء فى لون معين أن الضوء الذى له هذا الطول الموجى المحدد غائب عن ضوء الشمس الذى مر خلال المنشور. وإنه لأمر مهم أن نتساءل عن ما حدث لهذا الإشعاع، ونوع الضوء الذى لا نجده فى الصورة يدلنا على فشله فى الوصول إلى الأرض لسبب ما. وأحد الاحتمالات أن هذا النوع المحدد من الضوء قد تم امتصاصه بواسطة شىء ما خلال رحلته من الشمس إلى الأرض، لكن

هذا غـيـر ممكن لأن المنطـقـة بين كـوكبنا وبين الشـمس تـعتبـر فارغـة أصــلاً. وهو أمـر غيـر وارد أيضـًا أن يتم امـتـصـــاص هذا الضـوء بواسطة جـو الأرض. وهناك احـتـمـال آخـر مـعـقـول وهو أن هذا الضـوء لم يخـرج أبدًا من مـصـدره الأصـلى، ومن المحـتـمل أنه تم امـتـصـاصـه بواسـطة مـادة مـا فى الشـمـس قبل أن يتـوافر لديه الوقت للانفلات من سطح الشمس.

فـهل يمكننا أن نعرف هذه المادة النجمية المسؤولة عن هذا الامـتـصـاص؟ الإجابة بنعم، يمكننا ذلك، ولكن قـبـل أن نجـيب عن هذا السـؤال نحـتـاج إلى دراسـة البنيـة الداخلية للذرات.

تعـتـبـر الذرة هى اللبنة الأسـاسـيـة لكل المـادة الموجـودة بما فى ذلك المادة التى تحتوى عليـها أجسـامنا. ويبلغ حـجم الذرة العـادية نحـو $١٠^{-١٠}$ أمـتـار، ولكل ذرة نواة تتكون من جـسـيـمـات بالغـة الصـغر تسـمى "بروتـونات" و"نيوترونات"، وتلك الجـسـيمـات مـتـمـاسكة معًا بقـوة داخل النواة. ومن أجل تـبـسـيط هذه الدراسـة سوف نعـتـبـر هذه الجـسـيـمـات كـرات بليـارد صـغـيرة جداً، لكل منهـا قطر طوله $١٠^{-١٥}$ أمـتـار تقـريبـًا. وتتشابه البروتونات والنيوترونات مع بعضـهـا البعض، لكنها لا تتطابق، فلها تقريبـاً نفس الكتلة، مع الأخذ فى الاعتبار أن النيوترونات أكثر ثقلاً بقليل من البروتونات. ومن جـهـة أخرى فإن البروتونات تحمل شحنة كهربائية موجبة، بينما تعتبر النيوترونات متعادلة كهربائيا، وهذا يعنى أن النواة فى مجملها ذات شحنة موجبة.

ويحيط بهذه النواة جسيمات يطلق عليها اسم الإلكترونات، وهـى أصـغر وأخف من البـروتونات والنيـوترونات، لذلك فـإن أغلب كـتلة الذرة مـركـزة فى النواة. وللإلكـترونـات شحنة كهربائيـة سـالبة، ولكل ذرة مـا تحـتـاج إليـه بالضـبط من إلكترونات لكى تعـادل تماماً الشحنة الموجبة فى النواة، لذلك فإن النواة تكون متعادلة كهربائيا.

وليست الإلكترونـات الموجودة حول نواة ذرة ما حرة فى احـتلال مدار مـعين، فإن لدى الإلكترونات ميلاً إلى البقاء أقرب ما يكون من النواة (بدون الاندماج فيها بالطبع)، وبعضـها يمكنه الاقتراب من النواة نسبيا. وإذا كان هناك أكثر من إلكترون فى النواة،

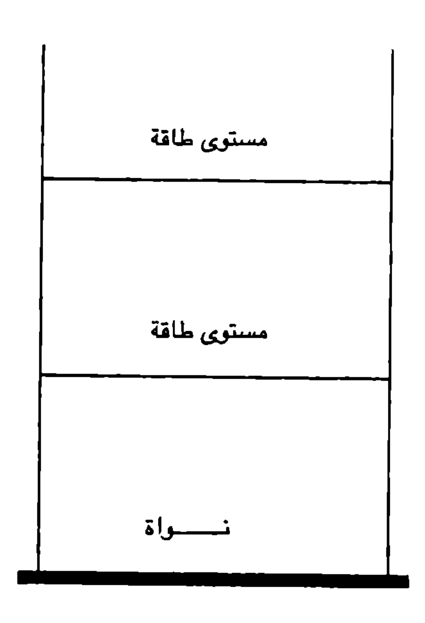
فإن النطاق الأقرب للنواة يكون محتلا بكامله ولا يمكن لبقية الإلكترونات احتلاله، لذلك تضطر هذه الإلكترونات إلى احتلال مدارات أوسع فأوسع. وهذا يعنى أن مدارات الإلكترونات **مقيدة**.

وهذا أمر مهم لأن طاقة كل إلكترون فى الذرة تتحدد تبعًا لبعده عن النواة، فالإلكترونات الأبعد لها طاقة أعلى. ولنعرف ماذا يعنى ذلك، دعنا ندرس أصغر ذرة فى الوجود، إنها ذرة الهيدروجين، حيث تحتوى نواتها على بروتون واحد ولها إلكترون واحد يدور حولها. وإذا أردنا فصل هذين الجسيمين فعلينا أن نتغلب على قوى الجذب التى تؤثر عليهما بسبب شحنتيهما الكهربائية المتضادتين.

ويجب استهلاك كمية طاقة معينة للتغلب على عملية مقاومة الفصل هذه. وحيث أن الطاقة لابد أن تظل باقية فى أى عملية فيزيائية، فإن الطاقة التى نستهلكها فى عملية فصل البروتون عن الإلكترون لابد أن تتحول إلى شكل آخر من الطاقة، لأنه من المستحيل ببساطة أن تختفى، لذلك تصبح مختزنة كطاقة "كامنة" فى الإلكترون. ومعنى ذلك أن الإلكترون يكتسب طاقة عندما يتم إبعاده عن البروتون ويحتل مداراً أوسع. وينتج عن ذلك أنه إذا كان مدار الإلكترون حول النواة مقيداً فيجب أن تكون طاقته أيضًا مكبوحة .

وتشبه عملية زيادة المسافة بين إلكترون ما وبين النواة حمل شىء ثقيل مثل طوبة إلى أعلى سلم، ففى الحالة الأولى علينا نقل طاقة إلى الإلكترون للتغلب على الجذب الكهروستاتيكى بين الإلكترون والنواة، وفى الحالة الثانية يجب علينا أن نبذل جهداً للتغلب على قوة الجذب الناجمة عن الجاذبية الأرضية. وتكتسب الطوبة طاقة وضع كلما زاد ارتفاعها عن الأرض، وهذا هو بالضبط ما يحدث للإلكترون الذى يكتسب طاقة عندما نبعده عن النواة. وبسبب هذا التشابه يمكننا رسم تماثل بين هذين التصورين ونعرض الطوبة كما لوكانت إلكتروناً وبالعكس، عندئذ يناظر ارتفاع الطوبة عن الأرض إبعاد النواة عن الإلكترون فى الذرة.

ويزداد ارتفاع وطاقة الطوبة بمقدار محدد بدقة كلما تسلقنا السلم، ويمكن تحديد هذه الزيادة بالمسافة بين درجات السلم. وإذا أردنا أن نستريح خلال عملية التسلق، لا يمكننا التأرجح بين درجات السلم، حيث أن الطاقة الكامنة للطوبة مقيدة مثلها مثل الإلكترون. ويمكننا أيضاً تصور الإلكترون داخل الذرة كما لو كان موجوداً على درجات سلم خيالي. وهذا "السلم الذرى" ليس حقيقياً، أى ليس مثل وجوده الفيزيائى، لكن تصوره يساعدنا فى تخيل ما يحدث .




الشكل ٢ - ١ : حالات الطاقة المتاحة للإكترونات داخل النواة حيث يمكن تصورها كما لو كانت درجات فى سلم. وتمثل الدرجات مستويات الطاقة. ويجب أن تستقر الإلكترونات على هذه الدرجات ولا يمكنها أن توجد فيما بينها. وفى هذا الشكل تقع نواة الذرة فى مكان ما تحت الدرجة السفلية.

وكما هو موضح فى الشكل ٢ - ١، يجب أن توجد الإلكترونات على الدرجات وهى ممنوعة من الوجود فيما بين الدرجات. والنواة موجودة أسفل الدرجة السفلية للسلم.

ويُشار إلى هذه الدرجات فى مجملها على أنها "مستويات طاقة"، حيث أنها تمثل كمية الطاقة المصاحبة للإلكترونات. ويتحدد الحد الأدنى لكمية الطاقة التى يمكن للإلكترون أن يحصل عليها بأقرب مدار ممكن من النواة، وتمثل المدارات الأكثر بعداً عن النواة الطاقة الأعلى وتناظر الدرجات الأعلى على السلم.

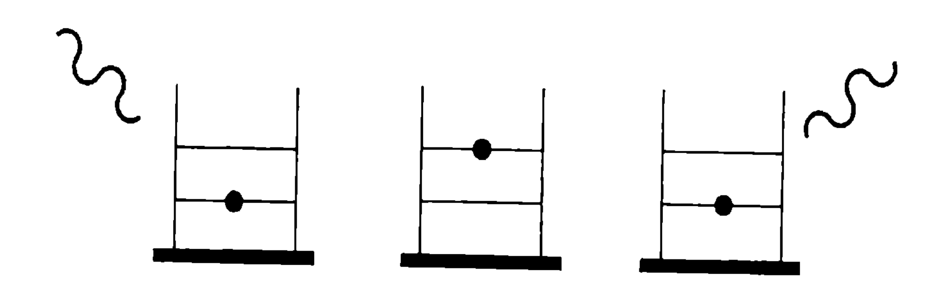
وقد يميل إلكترون ما لأن يوجد على الدرجة السفلية، لكن إذا كانت هذه الدرجة مليئة فعلاً، فعلى الإلكترون أن يستقر فى درجة أعلى. وتشبه المشكلة التى تواجهها الإلكترونات موقفًا يواجه شخصين على سلم عندما يحاولان التوازن على نفس الدرجة فى نفس الوقت. ليس هذا مكانًا مناسبًا لكليهما معًا.

ويصدق هذا التصور لاستقرار الإلكترونات فوق درجات سلم، على كل العناصر الكيميائية. ويجب أن نتوقع، رغم ذلك، أن تكون الطاقات المتاحة مختلفة بالنسبة للعناصر المختلفة، حيث أن كل نوع من الذرات يحتوى على عدد مختلف من الإلكترونات. وهذا هو ما يحدث فى الواقع، حيث أن **التباعد النسبى** بين درجات السلم يكون مختلفًا بالنسبة للعناصر المختلفة. وبقول آخر، يكون لكل نوع من الذرات، مثل ذرات الهيدروجين والكربون والأكسجين مثلاً، له سلمه الخاص المصاحب له.

وهذه الخاصية مهمة لأنها تفيد بأنه يمكن استخدام بنية السلم كوسيلة لمعرفة نوع العنصر، ويمكننا اعتبار السلم "بصمة ذرية". وإذا أمكننا قياس التباعد النسبى بين مستويات الطاقة المتاحة لمادة ما، فقد نتمكن من التعرف على نوع العنصر الموجود.

كيف يمكننا قراءة بصمة ذرة ما؟ فلنرى ماذا يحدث عندما تمتص ذرة هيدروجين طاقة من مصدر خارجى. ويوضح المخطط الموجود فى الشكل ٢ – ٢ ما يحدث فى هذه الحالة. ويمكن أن تكون الطاقة على هيئة إشعاع كهرومغناطيسى. فى البداية يكون الإلكترون موجوداً على درجة السلم السفلية، وعندما يتم امتصاص الطاقة تنتقل إلى الإلكترون.

وطاقة الإلكترون مقيدة، مما يعنى أن الإلكترون لا يمكنه امتصاص سوى مقدار معين من الطاقة، وعند زيادة طاقته فإن ذلك يؤدى إلى قفز الإلكترون إلى درجة أعلى على سلم الهيدروجين. ومن ناحية أخرى، يكون لدى الإلكترون ميل مفرط لأن يعود إلى الدرجة السفلية، لأن هذه هى حالة أدنى طاقة. وعلى نفس المنوال، فإنه من المحتوم عودة الطوبة إلى الأرض إذا تركناها تسقط. وبعد وقت بالغ الصغر، يفقد الإلكترون طاقته المكتسبة الجديدة ويعود إلى أسفل السلم.

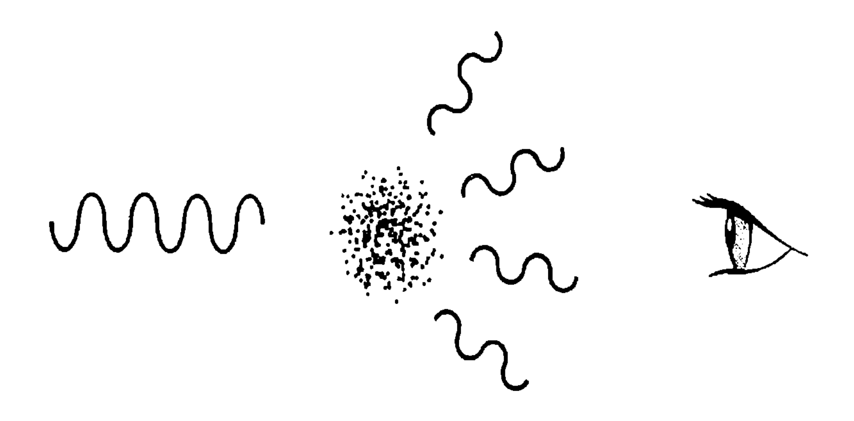


شكل ٢ – ٢ : يتم امتصاص حزمة من الإشعاع الكهرومغناطيسى بواسطة الإلكترون فى ذرة هيدروجين. ويؤدى ذلك إلى قفز الإلكترون إلى درجة أعلى على السلم، وبعد وقت قصير يفقد الإلكترون هذه الطاقة الزائدة ويعود إلى أسفل السلم. وتنبعث الطاقة على هيئة إشعاع كهرومغناطيسى.

وعند سقوط الإلكترون، تنبعث طاقة من الذرة على هيئة إشعاع كهرومغناطيسى. وقد يسقط الإلكترون مباشرة إلى مستواه الأصلى عندئذ تكون الطاقة المنبعثة مساوية لكمية الطاقة الممتصة فى البداية. وهناك بديل آخر أن يسقط الإلكترون على درجة وسطى، عندئذ تكون أطوال موجات الإشعاع المنبعث مختلفة عن مثيلاتها بالنسبة للضوء الممتص.

وحيث أن كمية الطاقة الممتصة ثابت تبعًا للابتعاد بين الدرجات، فإن الإشعاع المنبعث يكون ثابتًا أيضًا، وينتج عن ذلك أن أطوال الموجات المحتملة للإشعاع المنبعث تكون مقيدة.

وفى كثير من الأحوال يمكن أن يكون طول موجة الإشعاع الممتص والمنبعث فى إطار الطيف المرئى. وهكذا فإن بعض الذرات يمكنها امتصاص ضوء لون محدد وإطلاقه. وتقودنا هذه الخاصية إلى النظر فى السيناريو التالى، الموضح فى الشكل ٢ - ٣ . افترض أننا أخذنا عنصراً نقيًّا مثل الهيدروجين وأطلقنا عليه شعاع من الضوء يتكون من أطوال موجات وألوان كثيرة مختلفة، عندئذ لن تمتص ذرات الهيدروجين سوى الضوء ذو الطاقة وطول الموجة المناسبين. وسوف يمر الإشعاع الذى له أطوال موجات أخرى فى المادة بدون أن يتأثر.



شكل ٢ - ٣ : حزمة من الإشعاع الكهرومغناطيسى له أطوال موجات مختلفة يقترب من سحابة غاز هيدروجين من اليسار. وأغلب الإشعاع لا يتم امتصاصه ويمر حيث يتلقاه الراصد على الجانب الأيمن. ولا يُمتص سوى الإشعاع الذى له طول موجة يناسب قفز الإلكترونات إلى مستويات طاقة أعلى. ورغم أنه يتم إعادة انبعاث الإشعاع بسرعة، فإنه يخرج من السحابة فى اتجاهات عشوائية ولا يصل إلى الراصد.

وعندما تعود إلكترونات الهيدروجين المستثارة إلى الدرجات السفلية المتاحة تنبعث الطاقة الممتصة بسرعة. وبشكل عام فإن الإشعاع المنبعث يكون له طول موجة مختلف عن الإشعاع الممتص، وينتقل أيضاً فى اتجاهات عشوائية ولا يتبع بقية الإشعاع. وهذا

يعنى ببساطة أن كثافة أطوال أمواج معينة، والألوان بالتالى، فى نفس حزمة الإشعاع ستنقص بشكل ملحوظ بمجرد مرور الضوء فى الهيدروجين. فإذا مرت الحزمة من خلال منشور ثم استقبلها فيلم فوتوغرافى، سوف تكون كل الألوان على الصورة الناتجة منفصلة. ويظهر غياب أطوال موجات معينة على هيئة خطوط **سوداء** على الصورة الفوتوغرافية. والنقطة المهمة فى هذا الأمر أن مواقع هذه الخطوط السوداء تحددها أطوال موجات الضوء الغائب، وأن أطوال الموجات هذه بدورها تحددها كمية الطاقة التى يمكن امتصاصها. وتعتمد أطوال الموجات مباشرة على مكان وجود الدرجات على السلم.

وبذلك يمكن قراءة بصمة الذرة. ويمكن تكرار هذه العملية لكل العناصر، وحيث أن كل مادة لها مجموعة درجات خاصة فريدة من نوعها، تكون الألوان الغائبة فيها مختلفه بالنسبة للمواد المختلفة. وتكون مواقع الخطوط السوداء فى الصورة الفوتوغرافية مختلفة من مادة إلى أخرى.

وتعتبر البصمات الذرية التى يتم الحصول عليها بهذه الطريقة مناسبة تمامًا لدراسة النجوم. وتتيح لنا هذه التقنية تحديد أنواع الذرات الموجودة داخل نجم ما. تذكّر أن الضوء الآتى من الشمس يحتوى على خطوط سوداء فى أماكن مختلفة منه، مما يعنى أن ضوء الشمس الخاص بألوان معينة غائب. عرفنا أنه من المحتمل أن هذه الألوان قد تم امتصاصها بواسطة عناصر داخل النجم، فإذا كان الأمر كذلك يمكن للضوء الممتص أن ينبئ عن هوية العناصر المسئولة عن هذا الامتصاص. وبشكل أساسى فإن ما نحتاجه هو قياس مكان ظهور الخطوط السوداء فى ضوء الشمس ثم نقارن النتائج ببصمات الذرات التى نحصل عليها فى المختبر، وعند عملية المطابقة هذه سنعرف العنصر المتسبب فى هذه الظاهرة.

ولا تقتصر هذه التقنية على الشمس لكن يتم تطبيقها على عدد كبير من النجوم. وباستخدام هذه الطريقة توصل الباحثون إلى أن أغلب النجوم، بما فيها الشمس، يغلب على مكوناتها الهيدروجين والهليوم. ويعتبر الهيدروجين أبسط العناصر الموجودة فى

الطبيعة، وتتكون نواته من بروتون واحد. أما الهليوم فإن نواته أكثر تعقيداً وتحتوى على بروتونين ونيوترونين.



والآن وقد استطعنا التعامل مع مكونات النجوم، يمكننا فهم سبب تألق نجوم مثل الشمس. ومن المعتقد أن الشمس تكونت فى البداية عندما بدأت منطقة من غاز الهيدروجين فى التقلص تحت تأثير جاذبيتها الخاصة، وعندما زادت سرعة التقلص، افتقدت ذرات الهيدروجين الموجودة فى المركز الحيز الكافى للحركة، فاصطدمت بعضها ببعض بمزيد من التواتر وبشدة أعظم فأعظم، مما أدى إلى ارتفاع شديد فى درجة حرارة الغاز. وتطوحت إلكترونات ذرات الهيدروجين مرات كثيرة مما جعلها تقفز إلى مستويات طاقة أعلى فأعلى. وبعد أن واصلت كثافة المنطقة المركزية الارتفاع المتتالى، أصبحت طاقات الذرات بالغة الارتفاع حتى أن الإلكترونات ظلت على هذه الحالة المستثارة.

وأصبحت الإلكترونات فى ذرات الهيدروجين هذه نشطة جدا لدرجة أنها عجزت عن السقوط من جديد إلى حالة الطاقة الدنيا. وإذا حدث لسبب ما أن تمكن إلكترون من السقوط إلى مستوى أكثر انخفاضًا فإنه يكتسب فوراً طاقة تؤدى إلى طرده من جديد إلى أعلى السلم. ومع تواصل عملية التقلص حصلت الإلكترونات على مزيد ومزيد من الطاقة وواصلت الصعود على سلم مستويات الطاقة، واكتسبت فى آخر الأمر مقادير ضخمة من الطاقة حتى أنها وصلت إلى قمة السلم. عندئذ كانت الإلكترونات قد ابتعدت كثيراً عن النواة حتى أصبحت حرة من الجاذبية التى تشدها إلى النواة، فأفلتت بشكل فعلى وأصبحت تسلك كجسيمات حرة. وعند هذا الوضع بدأت سحابة الهيدروجين كما لو كانت حساءً كثيفًا شديد الحرارة من إلكترونات سالبة الشحنة وبروتونات موجبة الشحنة. وتُعرف هذه الحالة للمادة **بالبلازما**.

استمر تقلص سحابة غاز الهيدروجين ، وازدادت حرارة القلب إلى مدى بعيد. وكانت البروتونات حرة فى أن تتصادم مباشرة مع بعضها البعض، ولقد فعلت ذلك بحماس كبير. وفى آخر الأمر أصبحت كثافة البلازما بالغة الارتفاع حتى أصبح لدى

البروتونات ما يكفى من الطاقة لكى تتغلب على تأثيرات التنافر بين شحناتها الكهربائية ذاتها. وأخيراً ارتفعت درجة حرارة مركز السحابة لتصل إلى مليون درجة، وحدث شىء مهم. لقد بدأت البروتونات فى التصادم ببعضها البعض بقوة بلغت من الشدة حداً جعلها تندمج بالفعل مع بعضها البعض لتشكيل نوى هليوم. (وبشكل أكثر دقة اضمحلت بعض البروتونات لتصبح نيوترونات وجسيمات أخرى، واتحدت النيوترونات الجديدة مع البروتونات لتكوين الهليوم).

وفى هذا الوضع الجديد أصبحت السحابة نجماً. والعملية الواقعية أكثر تعقيداً من ذلك، لكننا لا نحتاج إلى الغوص فى التفاصيل هنا لكى نحصل على تصور بسيط لما حدث. والنقطة الرئيسية فى الموضوع أن نواة الهليوم التى تتكون من نيوترونين وبروتونين، لها طاقة أقل من أربعة بروتونات غير مقيدة. وإنها لقاعدة أساسية تلك التى توضح أن المنظومة الفيزيائية تظل مستقرة فى حالة الطاقة الأدنى المتاحة لها، وهذا هو سبب أن الكرة تميل لأن تسقط إلى أسفل أكثر من ميلها لأن تتسلق تلاً. ومن ثم فإنه من وجهة نظر الطاقة يصبح من المفضل لدى بروتونين فى القلب أن يتحولا إلى نيوترونين وأن يتحدا مع بروتونين آخرين لتشكيل نواة هليوم. ويحدث اندماج الهيدروجين هذا وتحوله إلى هليوم فى زمننا الراهن فى مراكز النجوم تماماً كما يحدث فى الشمس.

وحيث أن نواة الهليوم الناتجة لها طاقة أدنى من طاقة البروتونات الأربعة الأصلية، فلابد أن طاقة انطلقت خلال عملية الاندماج. وفى الواقع، لقد انطلقت كمية هائلة من الطاقة على هيئة إشعاع كهرومغناطيسى. ولهذا الإشعاع ميل لأن ينتقل من قلب النجم فى اتجاه سطحه. وبشكل مغاير تمنع البروتونات، التى تجذبها قوة الجاذبية نحو المركز، أغلب هذا الإشعاع من الإفلات.

ويمكننا تصوير الإشعاع والبروتونات كما لو كانا مجموعتين من الأشخاص المتزاحمين المسافرين إلى اتجاهات متعارضة خلال درب ضيق، فبمجرد تقابلهما تحتك المجموعتان ببعضهما البعض ثم يعطلان بعضهما البعض فى حالة من الفوضى.

ولا تستطيع أى مجموعة منهما أن تحرز مزيداً من التقدم بسبب ضغط الأخرى عليها، ويتراجع تقدم مجموعة منهما بتأثير محاولة المجموعة الأخرى أن تتقدم فى الاتجاه العكسى. وبطريقة مماثلة، فإن هذا ما يحدث فى النجم، حيث تتعادل قوة حركة الإشعاع إلى الخارج مع قوة البروتونات التى تجذب إلى الداخل.

وهذا التفاعل بين البروتونات والإشعاع يمنع من حدوث مزيد من التقلص للنجم. تصور ما الذى كان سيحدث إذا استمر التقلص، سترتفع كثافة المادة ويؤدى ذلك إلى أن تصبح البروتونات أكثر نشاطاً مما هى عليه فعلاً، ويصبح اندماجها ببعضها البعض أكثر سهولة، وينتج عن ذلك مزيد من الهليوم والإشعاع، ويزداد الضغط المتجه إلى الخارج الناتج عن الإشعاع، وفى آخر الأمر قد يتغلب على السحب إلى الداخل الناتج عن الجاذبية. وفى هذه الحالة تصبح البروتونات مرغمة على الانطلاق من القلب إلى الخارج، ويتمدد النجم ولو بشكل طفيف. ولكن بمجرد حدوث هذا الأمر قد يبرد النجم وتنخفض طاقة البروتونات. وقد يصبح اندماج الهليوم، مع ما يلحقه من إطلاق إشعاع، أقل فعالية. وإذا تمدد النجم أكثر فأكثر، فقد تنتج كمية غير كافية من الإشعاع، مما يتيح للتقلص أن يحدث مرة أخرى.

لقد توصلنا إلى أن التفاعل بين المادة والإشعاع يؤدى إلى التوازن، حيث يحدث توازن **تام** بين ضغط الإشعاع إلى الخارج وسحب الجاذبية إلى الداخل بسبب وجود المادة. ويعتبر هذا الوضع متوازناً إلى حد بعيد، ويظل تقلص النجم غير وارد طالما يتم إنتاج إشعاع كاف فى المركز. ويظل حجم النجم ثابت من الناحية الأساسية خلال اندماج الهيدروجين لإنتاج الهليوم. ويفسر هذا التوازن سبب استقرار الشمس إلى هذه الدرجة التى لا تجعلها تنهار على نفسها أو تنفجر.

ورغم ذلك، يمكن لجزء صغير جدا من الإشعاع الناتج فى القلب أن يفلت من مركز الشمس ويصل إلى سطحها، ويكون بعض هذا الإشعاع الكهرومغناطيسى على هيئة ضوء مرئى، وبعض هذا الضوء يجد لنفسه طريقاً فى آخر الأمر ليصل إلى الأرض. وهذا هو الضوء الذى نراه نهاراً.

لقد أجبنا عن السؤال الذى طرحناه فى نهاية الفصل السابق، فنجم مثل الشمس يقضى معظم حياته وهو يحول الهيدروجين إلى هليوم. وعلى أى حال، فإن كمية الهيدروجين المتاحة لإتمام عملية الاندماج محدودة، وسوف يتم استنزاف المورد فى آخر الأمر. ورغم أن على شمسنا أن تستمر فى أداء هذه المهمة على مدى خمسة مليارات سنة أخرى قادمة أو نحو ذلك، فمن المتوقع فى نهاية الأمر أن تتوقف عملية تحويل الهيدروجين إلى هليوم، وأن تتوقف عملية إطلاق الإشعاع. وفى غياب هذا الإشعاع، لن يكون هناك ما يحمى الشمس من مزيد من التقلص. وتعتمد نتائج هذا الانهيار الثانوى على حجم النجم، وسوف نرجئ عرضنا لما قد يحدث إلى مناقشة تالية. وسوف نستخدم تقنية تحديد البنية الذرية التى توصلنا إليها خلال ما عرضناه فى هذا الفصل، مرة أخرى لدراسة الضوء الذى يأتى إلينا من المجرات البعيدة. وسوف يكون هذا هو موضوع الفصل التالى.





## الفصل الثالث

# تمدد الكون

إذا كان للنجوم فى المجرات البعيدة نفس تركيب النجوم الموجودة فى مجرتنا، فإن الضوء الذى نستقبله منها يجب أن تكون له نفس صفات بصمتى الهيدروجين والهليوم. وهذا ما يتم رصده فعلاً.

ومع ذلك فإن هناك فرقًا واحدًا مهمًّا بين الضوئين المجرى والنجمى، وله توابع عميقة بالنسبة لفهمنا للكون. فرغم حقيقة أن التباعد النسبى بين الخطوط السوداء التى تُلاحظ فى ضوء المجرات تناظر ذرات الهيدروجين والهليوم، فإن هذه الخطوط فيما يبدو لا توجد فى مواقعها المتوقعة تماماً. وعندما نفحص الضوء الآتى من المجرات، نجد أن الخطوط السوداء تنحرف قليلاً فى الصورة.

ويوضح الشكل التالى ٣ - ١ صوراً تخطيطية للضوء المنبعث من نجم عادى فى مجرتنا والضوء الذى يتم استقباله من مجرة متوسطة البعد عنا. والضوء الذى له طول موجة أطول موجود على يمين الشكل. وإذا كانت هذه صورة ملونة، فإنها تبدو أكثر احمراراً على الجانب الأيمن وأكثر زرقة على الجانب الأيسر، وعلينا أن نتذكر أن خطوط الامتصاص فى ضوء المجرات توجد كلها عند أطوال موجات أطول قليلاً مقارنة بحالة النجوم.




شكل ٣ – ١ : (ا) صورة تخطيطية لضوء تم استقباله من نجوم فى مجرتنا. (ب) طيف ضوئى مناظر تم استقباله من مجرة بعيدة. وفى الحالتين يحتوى الطيف على سلاسل من الخطوط السوداء بسبب امتصاص ضوء بعض أطوال الموجات. والابتعاد النسبى للخطوط هو نفسه فى الحالتين، لكن الخطوط فى طيف المجرة البعيدة منحرفة نحو أطوال أمواج أطول قليلاً، مما يعنى أن المجرة تبتعد عن درب التبانة.

ومفتاح فهم سبب تحرك الخطوط السوداء نحو أطوال الموجات الأطول يكمن فى حقيقة أن الضوء ينتقل فى الفضاء كموجة. تصور ما يحدث عند بث موجة من مصدر ثم التقاطها بواسطة مستقبل يقع على مسافة بعيدة نسبيًّا، فإذا كان المرسل والمستقبل يظلان ساكنين بالنسبة لبعضهما البعض، فإن المسافة التى تفصل بينهما تظل ثابتة مع مرور الوقت. من هنا فإن كل قمة للموجة تستغرق نفس الوقت لتصل إلى المستقبل، مما يعنى أن عدداً متساوياً من القمم سيصل خلال فترة زمنية محددة. وسيكون طول الموجة هو نفسه عند المصدر وعند الراصد.

**وليست** هذه هى نفس الحالة إذا كان المصدر يتحرك مبتعداً عن الراصد، فإذا

زادت المسافة بين المصدر والمستقبل مع مرور الوقت، فإن كل قمة للموجة عليها أن تقطع مسافة أكبر مقارنة بالقمة السابقة لها، وتستغرق القمة التالية زمنًا أطول قليلاً لكى تصل إلى المستقبل. وينتج عن ذلك زيادة صغيرة فى المسافة بين قمتين متجاورتين. وبتعبير آخر، فإن طول الموجة الذى يتم قياسه عند المستقبل سيكون أطول قليلاً من نظيره الذى يُقاس عند المصدر. ويكون التأثير الإجمالى للتغير فى الابتعاد النسبى بين المصدر والمستقبل زيادة طول الموجة الذى تتم ملاحظته.

ويعرف هذا الانحراف فى طول الموجة **بظاهرة دوبلر**، على اسم كريستيان دوبلر عالم الفيزياء النمساوى الذى اكتشفها. والمثال المألوف لهذه الظاهرة هو الصفارة التى ينطلق صوتها من قطار متحرك، فعندما يقترب القطار من المحطة يلاحظ المراقب على الرصيف زيادة فى درجة صوت الصفارة لأن ذبذبة الصوت ترتفع، وتتناقص درجة الصوت بعد مرور القطار على المحطة لأنه يبتعد عن الرصيف.

ولأن للضوء خواص شبه موجية، يزداد طول موجته أيضًا إذا كان المصدر والراصد يبتعدان عن بعضهما البعض. ويمكننا تصور أن الضوء صدر عن المجرات عند لحظة معينة فى الماضى البعيد ثم تم استقباله هنا على الأرض بواسطة التلسكوبات. فما الذى يحدث إذا كانت كل المجرات تتباعد عنا؟ يمكننا أن نتوقع أن أطوال موجات هذه المجرات ستزداد تبعًا لظاهرة دوبلر. لذلك فإن خطوط الامتصاص ستقع عند أطوال موجات أطول قليلاً مقارنة بما نتوقع رؤيته لو كانت المجرات فى حالة سكون. وهذا هو بالضبط ما يوضحه الشكل ٣ - ١ .

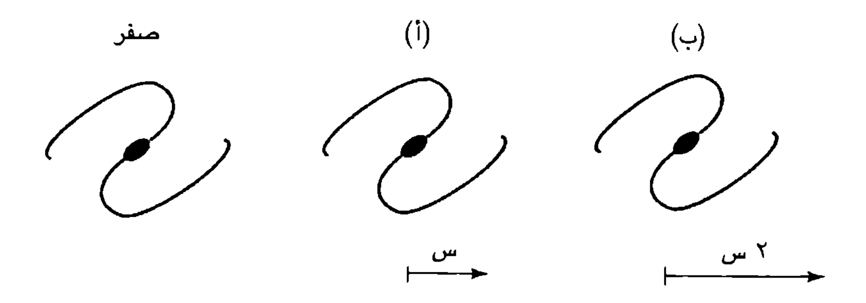
وتم اكتشاف هذا الانحراف فى ضوء المجرات فى العشرينيات، ويمكن تفسيره بأن حركة المجرات فى حالة ابتعاد عن مجرتنا. وهذه ملاحظة أساسية فى مجال علم الكونيات، وتؤدى إلى اعتبار الكون فى حالة **تمدد**.

ما الذى نعنيه عندما نقول إن الكون يتمدد؟ من ناحية وجهة النظر المفضلة لدينا هنا على الأرض، يبدو أن كل المجرات الأخرى فى الكون تتحرك مبتعدة عنا. وعندما

نتخيل هذا الوضع فى عقلنا، فإنه من الطبيعى أن نعتقد أن مجرتنا موجودة فى موقع ثابت فى مكان ما فى الفضاء، وفى هذا التصور يكون كل ما بقى من الكون يتحرك مبتعداً عنا تماماً مثل الحطام المندفع من مركز انفجار.

ولابد أن نؤكد فوراً على أن كون هذا التصور يضع مجرتنا ويضعنا فى مركز الكون تمامًا فإنه **ليس** صحيحًا. وعندما ننظر للأمر من وجهة نظر علم الكونيات، علينا أن نفترض عدم تمتعنا بموقع مميز أو وحيد من نوعه فى الكون. كيف إذن نفسر هذه الحركة للمجرات وهى تبتعد عنا؟ علينا أن نضع فى اعتبارنا الاحتمالات التالية. افترض أننا كنا قادرين على السفر إلى أى مكان فى الكون خلال عدة دقائق، فماذا سنرى خلال وثباتنا من مجرة إلى أخرى؟ فإذا لم يكن هناك شىء خاص يتعلق بموقعنا الراهن فى الكون، فإن ما سنراه سيكون هو نفسه تقريبًا فى أى مكان. ونخرج من ذلك بأن الكون سيبدو بالتأكيد متماثلاً لأى راصد يستخدم التلسكوب **بغض النظر** عن الموقع الذى يوجد فيه التلسكوب. وخلال سفرنا فى الفضاء علينا أن نتوقع رؤية نفس الصورة التى نراها هنا على الأرض.

وهكذا فإننا نرى كل المجرات فى الكون تتحرك مبتعدة عن المجرة الخاصة التى نوجد فيها. كل هذا أمر جيد، لكن كيف يساعدنا على تصور تمدد الكون على نحو واقعى؟ دعنا نفترض أننا عدنا إلى موطننا وأقنعنا صديق لنا بأن يقوم برحلة مماثلة إلى مجرة قريبة منا. واتفقنا معًا على قياس سرعة تباعد المجرتين اللتين نوجد فيهما بالإضافة إلى تحرى الوضع بالنسبة لبعض المجرات الأخرى القريبة. ويوضح الشكل ٣ - ٢ هذه الخطوات. رمزنا لمجرتنا بالرقم صفر، وإلى المجرة التى سيرحل إليها صديقنا بالحرف (أ). ويوضح الشكل أيضًا مجرة أخرى رمزنا لها بالحرف (ب). ونفترض بغرض التبسيط أن المجرات الثلاث على أبعاد متساوية، أى أن المجرة (ب) تبتعد عنا بضعف المسافة بين المجرة (صفر) والمجرة (أ).




شكل ٣ –٢ : على اعتبار أن قياساتنا تتم فى المجرة (صفر)، فإن السرعة الظاهرية (س) للمجرة تزداد بتناسب طردى مع مسافة تباعدها.

نستقبل الضوء من المجرة (أ) ونستنتج أن المجرة تتحرك مبتعدة عنا بسرعة محددة، ولتكن مائة كيلو متر فى الثانية. ومن المتوقع عدم وجود خصوصية ما فيما يتعلق بموقعنا أو فيما يتعلق بالملاحظات التى قد نحصل عليها، وهذا يعنى أن صديقنا سيلاحظ أن المجرة (ب) تتباعد عنه بنفس السرعة وهى مائة كيلو متر فى الثانية، حيث أن التباعد بين (أ) و(ب) هو نفسه بين (صفر) و(أ). لذلك فلابد أن المجرة (ب) تتحرك مبتعدة عنا بضعف هذه السرعة لأنها على ضعف المسافة الموجودة بيننا وبين المجرة (أ).

تتضمن هذه الملاحظة أن سرعة التباعد الظاهرية لمجرة عن راصد تزداد **بتناسب طردى** مع مسافتها. ولقد تم اكتشاف هذه العلاقة بشكل تجريبى بواسطة الفلكى الأمريكى إدوين هابل عام ١٩٢٩، وهى نتيجة مباشرة من افتراض أن موقعنا فى الكون مماثل لأى موقع آخر.

نستنتج من هذا الفصل أن الكون يتمدد بمعنى أن متوسط المسافة بين المجرات فى ازدياد مع مرور الوقت. وليس هناك مجرة ما فى حالة سكون، وكل المجرات تتحرك

بالنسبة لبعضها البعض. وأحد نتائج هذه الملاحظة أنه فى الأزمنة المبكرة للكون لابد أنه كان أصغر بكثير من حالته الراهنة. حقا، فلو كان هذا التمدد متواصلاً على نحو مطرد عبر تاريخ الكون، فلابد أن الكون كان بالغ الصغر فى الأزمنة الأكثر تبكيراً. وفى الواقع، لقد كان بالغ الصغر إلى درجة أن المجرات كانت مهروسة بشكل حقيقى فى بعضها البعض.

إلى أى مدى علينا أن نتراجع بعيداً فى الزمن لنصل إلى هذه البداية؟ إذا عرفنا المسافة إلى أكثر المجرات بعداً وعرفنا أيضاً سرعة ابتعادها عنا، فإن الزمن الذى انقضى منذ كانت قريبة منا جدا يمكن معرفته ببساطة بأن نقسم المسافة على سرعة التباعد. وبشكل ما فإن هذا الزمن الذى انقضى يمثل عمر الكون. والكون الذى يمكن ملاحظته يقترب قطره من عشرة مليارات سنة ضوئية، وأبعد المجرات تبتعد عنا بسرعة تقترب كثيراً من سرعة الضوء. من هنا فإن الزمن الذى استغرقته هذه المجرات حتى تتباعد عن بعضها البعض هو تقريباً عشرة مليارات سنة. وهذا يعنى أن عمر الكون لا بد أن يكون عشرة مليارات سنة على الأقل.

وعند استنتاج هذا التقدير تجاهلنا تأثيرات الجاذبية، التى تخضع لها كل المادة الموجودة فى الكون. مثلاً، تتحدد حركة الكواكب حول الشمس بالجاذبية بين هذه الأجرام. وبطريقة مماثلة فإن الجاذبية تربط بين النجوم داخل المجرة، وهى فعّالة أيضاً فيما بين المجرات نفسها. ويرتبط تمدد الكون بشكل واضح بقوة الجاذبية، وهذه العلاقة ستكون موضوعنا فى الفصل التالى.



# الفصل الرابع

# المكان والزمان والجاذبية

اكتشف ألبرت أينشتاين نظرية الجاذبية التى تتناول ديناميكا المقياس الكبير للكون، خلال العقدين الأولين من القرن العشرين، ويُشار إليها باسم **نظرية النسبية العامة**. وسيكون من المفيد هنا أن ندرس بعض الأفكار الناجمة عن هذه النظرية.

ونبدأ بدراسة سرعة الضوء. استنتج عالم الفيزياء الإنجليزى فى عام ١٨٦٥ جيمس كلارك ماكسويل معادلات تثبت أن الشعاع الكهرومغناطيسى ينتقل فى الفراغ بسرعة ثابتة ومحدودة. ويعتبر أحد الفروض المهمة التى وضعها أينشتاين فيما بعد توقعه بأن راصدين يتحركان بسرعة ثابتة بالنسبة لأحدهما الآخر يقيسان نفس القيمة لسرعة الضوء.

ولا يتسق فرض إنشتاين مع معارفنا البديهية، وهذا أقل ما يقال. ما الذى نتوقعه ؟ تعتبر السرعة كمية نسبية، فيمكننا قياس سرعة شىء ما تبعًا لعلاقته بشىء آخر فقط. ومثال لذلك، عندما نقول أن قطارًا يتحرك عبر محطة بسرعة ثابتة مقدارها مائة كيلو متر فى الساعة، فما نعنيه حقا أن المسافة بين القطار والرصيف تتغير بهذا المعدل.

دعنا ندرس حالة قطارين (أ) و(ب) يتحركان متزامنين عبر المحطة بنفس السرعة، فإذا كان القطاران يتحركان فى نفس الاتجاه سيبدو عليهما أنهما ساكنان بالنسبة لأحدهما الآخر. وإذا سارا فى اتجاهين متضادين، فإن السرعة الظاهرية للقطار (ب) كما يقيسها سائق القطار (أ) ستكون مائتى كيلو متر فى الساعة.

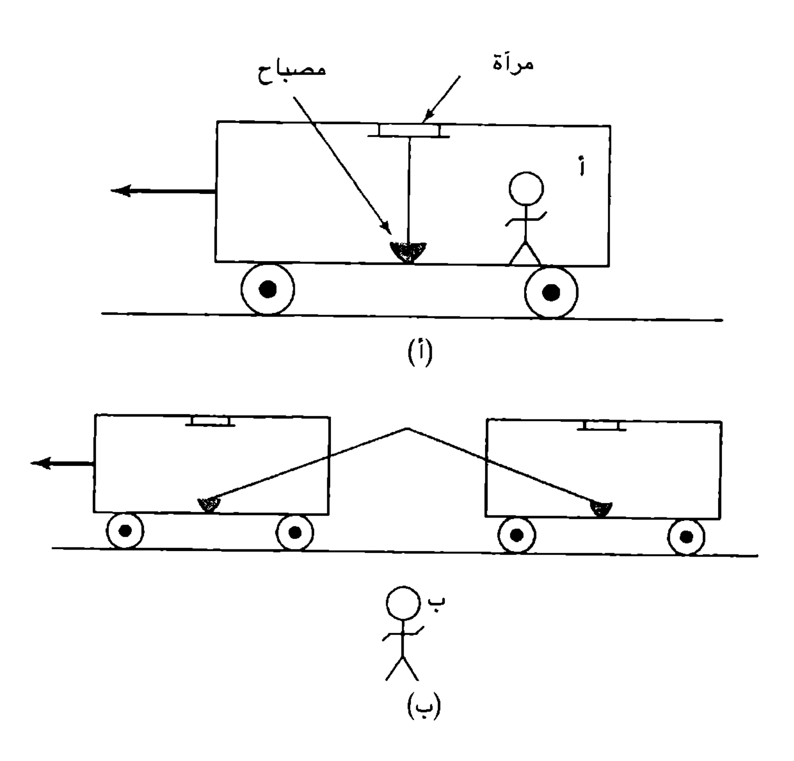
وقد نتصور أن السرعات يمكن دائمًا جمعها بهذه الطريقة. وفى الواقع لا ينطبق ذلك على الضوء.، فإذا كان على سائق القطار (أ) أن يرسل نبضة ضوء إلى سائق القطار (ب)، فإن كليهما سيقيس قيمة ثابتة لسرعة الضوء، رغم أن النبضة تتحرك مبتعدة عن (أ) فى اتجاه (ب). بالفعل يقيس السائقان سرعة الضوء فيجدانها هى نفسها كما لو كانا فى حالة سكون!

وأدرك أينشتاين أن هذا التناقض يمكن حله إذا كنا مستعدين لتعديل أفكارنا حول طبيعة المكان والزمان. فالمكان والزمان هما كميتان نقيسهما، ونقيس المسافة عادة بالمسطرة، ومن الطبيعى بالنسبة إلينا أن نفكر فى الزمان على أساس أنه تكات ساعة. وهناك أيضًا طريقة أخرى، لها نفس المصداقية، لقياس الزمن بتشغيل مصباح يبث وميض ضوء خلال فترات منتظمة محددة بدقة. ويمكن فى هذه الحالة تعريف وحدة الزمن بأنها الفترة بين ومضتين متتاليتين. والزمن الكلى الذى ينقضى بين حادثين يتم الحصول عليه بواسطة العدد الإجمالى للومضات التى تم بثها.

انظر إلى السيناريو فى الشكل ٤ - ١يوجد راصدان نشير إليهما بالحرفين (أ) و(ب)، كما فى الشكل ، إضافة إلى قطار متحرك. يتحرك الراصد (أ) داخل القطار بينما الراصد (ب) واقف على الرصيف. يشغِّل (أ) ساعة بوضع مصباح على أرضية العربة ومرآة فى السقف بحيث تكون أعلى المصباح مباشرة. وحدد (أ) وحدة الزمن على أنها الفترة التى تستغرقها نبضة ضوء للانتقال من المصباح حتى تصل إلى المرآة ثم تعود مرة أخرى.

والشكل ٤ - ١ أ يوضح ما يراه الراصد (أ)، الذى يراقب الضوء الصادر من المصباح ويراه وهو ينتقل مباشرة إلى أعلى ثم إلى أسفل، حيث أن (أ) يعتبر ساكنًا بالنسبة إلى المصباح. والشكل ٤ - ١ب يمثل ما يلاحظه (ب) خلال مرور القطار عبر المحطة من اليمين إلى اليسار. ويلاحظ الراصد (ب) نفس نبضة الضوء، لكن يبدو الضوء للراصد (ب) كما لو كان يتحرك بزاوية بالنسبة للاتجاه الأفقى. وتبعًا لما يراه (ب) فإن الضوء يتحرك أيضًا فى اتجاه جانبى عند انتقاله إلى أعلى العربة والعودة من جديد لأن القطار نفسه يتحرك.

وعندما يتقابل الراصدان بعد ذلك فإنهما يختلفان حول المسافة التى تحركتها نبضة الضوء لاستكمال رحلتها. وحيث أن وحدة الزمن قد تم تعريفها بأنها الفترة التى يستغرقها الضوء لكى يعود إلى المصباح، فإنهما فعليا يقيسان الزمن بشكل مختلف. وهذا الاختلاف صغير جدا بالنسبة للسرعات التى نتعامل معها فى حياتنا اليومية، ولا نلاحظ ذلك مباشرة، ويصبح هذا الفرق مهم فقط عندما تكون السرعة النسبية قريبة من سرعة الضوء.




شكل ٤ - ١ يقيس كلا الراصدين (أ) و(ب) الزمن الذى تستغرقه ومضة من الضوء تنتقل من المصباح إلى المرآة ثم تعود من جديد داخل قطار متحرك. والمسار الذى يتخذه الضوء موضح بخط متصل. أ - يتحرك الراصد (أ) داخل القطار ويلاحظ أن الضوء يتحرك عمودياً إلى أعلى ثم إلى أسفل. ب - يرى الراصد الساكن (ب) الضوء يتحرك بشكل مائل خلال مرور القطار بالمحطة من اليمين إلى اليسار.

والاستنتاج المهم الذى يجب الانتباه إليه أن الزمن يرتبط فعلاً بحركة الشخص الذى يقيسه، ولهذا القول نتائج مهمة فيما يتعلق بما نعنيه بمفهوم الزمن. وطالما وصلنا إلى هذه النقطة، فإننا نواجه مشكلة جديدة تتعلق بالمفهوم. فإذا كان الراصدان (أ) و(ب) يختلفان حول المسافة التى تقطعها نبضة الضوء، فمن منهما الذى قاس قياساً صحيحاً؟

والإجابة أن قياس كل منهما صحيح. ويمكن حل هذا التعارض الظاهرى بالطريقة التالية.

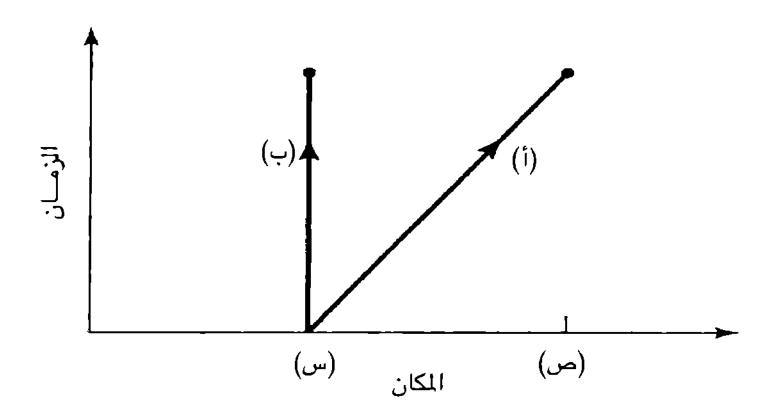
دعنا نذهب بعيداً فى الخيال ونتصور ما يحدث إذا كان من الممكن التعامل مع المكان والزمان كما لو كانا مقدارين متماثلين. بالطبع من المعروف أن المكان والزمان غير متطابقين، حيث يمكننا الانتقال إلى الخلف أو إلى الأمام فى المكان، لكننا لا نستطيع سوى الانتقال إلى الأمام فى الزمان، ولا نعرف كيف نرحل إلى الخلف فى الزمان ونقابل أسلافنا.

ورغم هذه الاختلافات، دعنا نتعامل مع الزمان كنوع من البعد المكانى الفائق. نحن معتادون على المكان ذى الأبعاد الثلاثة أى الطول والعرض والارتفاع. فيمكننا الانتقال إلى أعلى أو إلى أسفل أو إلى الأمام، أو إلى الخلف، وأيضًا من اليسار إلى اليمين. من هنا نقول بأن المكان له أبعاد ثلاثة. وبالجمع بين المكان والزمن نصل إلى مفهوم مقدار الأبعاد الأربعة التى يطلق عليه **المكان - الزمان**.

يمكننا بسهولة أن نتصور فى ذهننا ما الذى يعنيه شيء ذو ثلاثة أبعاد، مثل الطوبة، ومع ذلك فإن عقولنا لا يمكنها تصور ما يعنيه هذا المكان - الزمان ذو الأربعة أبعاد. يمكننا فقط أن نتصور حالة خاصة يتم فيها تجاهل بعدين من المكان. ومع هذا التبسيط، يكون لدينا بعد واحد للمكان وبعد واحد للزمان، ويصبح للمكان - الزمان بعدان فقط، مثل مجرد صفحة من الورق. وهذا يعنى أن فى استطاعتنا رسم صورة لهذا المكان - الزمان ذى البعدين.

دعنا نعود إلى الراصدين (أ) و(ب). افترض أن القطار عالى السرعة الذى يوجد (أ) داخله يستكمل رحلته بين محطتين، (س) و(ص). فى الشكل ٤ – ٢ رسمنا رسمًا بيانيًّا للمكان _الزمان الذى يصف هذه الرحلة. الزمان يتمثل بالمحور الرأسى، ويتم تمثيل المكان بالمحور الأفقى. ويوضح الشكل أيضًا حركة (أ) و(ب)، الراصد الساكن فى المكان نفسه يظل يتحرك فى اتجاه الزمان، لذلك فإن (ب)، الذى بقى فى المحطة (س)، يكون له مسار يمثله الخط الرأسى. وينتقل الراصد (أ) من (س) إلى (ص) لذلك فإن مساره فى المكان – الزمان يتمثل بالخط المائل. والمسافة الكلية التى قطعها (أ) فى **المكان – الزمان** ممثلة بطول هذا الخط المائل.

ومما يلفت النظر أن الراصدين يقيسان نفس الطول لهذا الخط المائل، وهذه نتيجة غير متوقعة حقا، فهى تتضمن أن التباعد بين النقط فى المكان – الزمان **لا يعتمد** على الراصد، مثل سرعة الضوء تمامًا. وفى الختام، فإن الراصدين يتفقان فيما يخص المسافة والزمان عندما لا يفكران فى المكان والزمان كهويتين منفصلتين، ولكنهما يوحدان بينهما فى المكان – الزمان.




الشكل ٤ –٢ شكل بيانى للمكان – الزمان يوضح رحلة (أ) بين المحطتين الواقعتين عند (س) و(ص). ويبقى الراصد (ب) عند (س) طوال رحلة تقدم (أ).

ماذا يقدم لنا هذا المثال حول طريقتنا فى قياس المكان والزمان بطرقنا المعتادة وبالساعات؟ ولماذا يقيس كل من (أ) و(ب) الزمان بشكل مختلف؟ للإجابة عن هذين السؤالين يلزم لنا أن ندرس أحد التناظرات. افترض أن لدينا طوبة تم تشكيلها على هيئة مكعب تام وعلقناها فى السقف، فإذا وجهنا مصدر ضوء على الطوبة، فإننا نرى ظلا على الأرضية.

يعتبر سطح الأرضية ذا بعدين، وهذا يعنى أن الظل يكون فى الواقع مسقطاً فى البعدين للطوبة ذات الأبعاد الثلاثة. ورغم أن الطوبة مكعب تام وكل جوانبه لها نفس الأطوال، لن يشبه الظل بالضرورة مربعًا تامًا، ويكون على هذا الشكل فقط إذا كان المصباح فى وضع أعلى الطوبة تمامًا. والشكل الفعلى للظل يتحدد بالوضع النسبى للطوبة والمصباح. من هنا فإن شكل الظل يتغير إذا تم تحريك المصباح إلى موضع مختلف.

افترض أننا سمحنا لشخصين بالدخول كل على حدة إلى الحجرة التى علقنا فيها الطوبة، وأعطينا كلاً منهما مصباحاً وطلبنا من كل شخص أن يضعه فى مكان ما أعلى الطوبة، وطلبنا من كل منهما أن يرسم رسمًا تخطيطيا للظل الناتج. ثم عزلنا الشخصين عن بعضهما بحيث لا يعرف أحدهما ما يفعل الآخر. سوف يضع كل منهما المصباح فى مكان مختلف عن الآخر وسوف يرسم صورة مختلفة. فإذا طلبنا من كل منهما أن يقيس جوانب الصورة التى رآها، لن تتفق الأطوال التى حصلا عليها حتى لو كانا يقيسان نفس الشىء. وقد يمكنهما إعادة إنشاء شكل الطوبة فى الأبعاد الثلاثة لكى تصبح مكعباً، لكن هذا يحدث فقط بعد أن يكونا قد فسرا مسقط الظل على الأرضية.

وتظهر ظاهرة مسقط مماثلة عندما نقيس المكان والزمان كل منهما على حدة، فالأبعاد الأربعة للمكان – الزمان يكون لها مسقط على الأبعاد الثلاثة للمكان وبعد الزمان، بنفس طريقة حدوث مسقط الطوبة فى الأبعاد الثلاثة على هيئة بعدين على الأرضية. والراصدان (أ) و(ب) يقيسان المكان والزمان منفصلين لنفس أسباب رؤية

الراصدين فى الغرفة ظلين مختلفين. وهذه الفروق نتيجة مباشرة للمسقط. وفى كل حالة من الحالتين، فإن كلا الراصدين ينظر أساساً إلى نفس المقدار، ولكن من منظور مختلف. وفى مثل الطوبة، يأتى الاختلاف من تغيير موضع المصباح. وفى المثال الموضح فى الشكل ٤ - ١، يأتى الفرق من أن أحد الراصدين يتحرك بينما الآخر ثابت فى مكانه.

وأتاح توحيد المكان والزمن على هيئة مكان - زمان لأيذشتاين أن يتقدم خطوة تجاه نظريته عن الجاذبية. ونحن نعلم أن الجاذبية تؤثر على كل الأجسام الكبيرة، مثل القطارات والبشر، لذلك يجب أن نضع الجاذبية فى حسباننا إذا كنا نريد الوصول إلى تصور أكثر اكتمالاً عن الكون.

ويمكننا وضع نموذج لتأثيرات الجاذبية على الكون يشبه ورقة تغليف من البولى إيثالين[٦].

وتصور مراقب افتراضى مثل نملة تتحرك هنا وهناك على سطح هذه الورقة، فيمكنها التحرك إلى الأمام أو إلى الخلف وأيضًا إلى شمالها أو يمينها، لكنها لا تستطيع التحرك إلى أعلى أو إلى أسفل. فكما هو الأمر بالنسبة للنملة، يمكن اعتبار الكون مكون من سطح له بعدين على هذه الورقة، وهذا السطح يمثل "مكان" نملة الكون.

وحاول أيذشتاين النفاذ ببصيرته إلى أن المكان - الزمان سيحدث له اعوجاج عند وجود شىء ضخم مثل أحد النجوم. وحيث أن كل الأشياء الضخمة تتأثر بالجاذبية، فإن هذا يعنى أنه يمكن وصف الجاذبية بمصطلحات تشوه (أو انحناء) المكان - الزمان.

مثال لذلك، ما الذى يحدث إذا كان علينا أن نضع كرة ثقيلة على الصفحة التى تحمل النملة؟ سيتشوه شكل البولى إيثالين، ولن يكون المكان بعد ذلك مستوياً، لكنه

(٦) البوليثين Polythene هو البولى إيثالين Polyethylene وهو راتنج مُبلمر. نوع من البلاستيك يستخدم فى صناعة الأوانى المنزلية والأنابيب أو يكون على شكل أغطية وأوراق للتغليف . (المترجم)

سيكون منحنيًا. وإذا كان على النملة أن تدحرج كرة خفيفة على البولى إيثالين على قرب من الكرة الأكثر ثقلاً، فسوف نجد أن الكرة الخفيفة تدور وتتحرك نحو الأخرى الثقيلة. وهذا هو ما يحدث بالضبط عندما تؤثر الجاذبية على الأشياء الأكثر ثقلاً والأكثر خفة. وبسبب تأثير جاذبية الأرض، عندما نرمى كرة فى الهواء إلى أعلى، فإن الكرة لا تنطلق فى خط مستقيم بل تغير اتجاهها وتسقط إلى أسفل عائدة إلى الأرض.

وتتمثل الفكرة فى هذه الحالة فى أنه يمكننا تصور الجاذبية بطريقة من طريقتين، إما أن قوة الجاذبية الناتجة عن الكرة الأكثر ثقلاً تؤثر على الكرة الأكثر خفة التى تدنو منها. وهذا يؤدى إلى أن الكرة الأخف تنجذب تجاه الكرة الأثقل، أو أن وجود الكرة الثقيلة يؤدى إلى انحناء البولى إيثالين، وأن هذا الانحناء يؤثر على مسار الكرة الخفيفة.

وفى كلتا الحالتين تتحرك الكرة الخفيفة تجاه الكرة الثقيلة. وتحدد كمية المادة فى منطقة معينة مدى تشوه المكان، فالكتلة الأكبر ينتج عنها مزيد من الانحناء، ويحدث مزيد من انحراف مسار الأشياء الأكثر خفة عن الخط المستقيم، وتصبح الجاذبية أشد قوة، كما هو متوقع. وباختصار، فإن قوة الجاذبية تكون مساوية لانحراف **المكان – الزمان**.

وعندما نصف الجاذبية بهذه الطريقة فإن الأمر يشبه محاولة تصويب كرة جولف، فإذا كان المرج مسطحًا تمامًا، ستكون المهمة سهلة حيث لن يكون علينا سوى ضرب الكرة مباشرة تجاه الحفرة. ومع ذلك فإن النتوءات والانحدارات الموجودة عادة فى المرج سوف ينتج عنها أن مسار كرة الجولف لن يكون بالضرورة خطًا مستقيمًا. وبدلاً من ذلك ستتبع كرة الجولف مسارًا منحنيًا عندما تسقط فى الانحدارات وتتحرك فوق النتوءات أو حولها. ويجب أن نضع فى حسباننا مثل هذه التأثيرات عندما نوجه مضرب الجولف. وبالمثل فإن علينا أن نضع فى اعتبارنا الانحناءات فى المكان – الزمان الناتجة عن الأشياء الثقيلة.

ويجب أن ننتبه إلى أن ما ينحنى بسبب الأشياء الثقيلة هو المكان - الزمان معًا، وليس المكان فقط، ولسنا مضطرين هنا إلى الدخول فى تعقيدات نظرية النسبية العامة. والنقطة المهمة تتمثل فى أن الانحناء يعتبر وصفًا متماسكًا لقوة الجاذبية.

وتتيح لنا نظرية أيذنشتاين تتبع تطور الكون فى مجمله تبعًا لقانون محكم. ويمكننا استخدام فكرته لبحث ما كان عليه الكون عندما كان أصغر بكثير مما هو عليه الآن. وتتيح لنا النظرية أيضًا تصورًا أكثر دقة عن تمدد الكون وكيف يمكن تصورها بشكل فعلى. وتبعًا لإنشتاين يبدو أن المجرات تتحرك مبتعدة عن بعضها البعض لأن **المكان بينها هو الذى يتمدد.**

ولتوضيح هذا المفهوم بشكل أفضل، فكّر فى مثال البالون التالى. نأخذ بالونًا فارغًا ونرسم نقاط على سطحه المرن. ونفترض أن هذه النقاط تمثل المجرات، وجسم البالون المرن يمثل المكان، فيمكن تصور سطح البالون بطريقة أو بأخرى على أنه الكون. ثم نضع نملة على إحدى هذه النقاط. وعندما ننفخ البالون، يتمدد "المكان" المرن، ويتمدد البالون. فما الذى تلاحظه النملة كلما زاد هذا التمدد فى المكان؟ سوف تعتقد أن مجرتها ثابتة وأن كل المجرات الأخرى تتباعد عنها.

والتشابه دقيق بين هذا المثال والكون الحقيقى، حيث تبدو كل المجرات البعيدة وهى تبتعد عنا، وهذا بالضبط ما تراه النملة. والتباعد فى كون النملة هو نتيجة تمدد سطح البالون، وبالمثل سيكون الأمر أكثر دقة عندما نفسر حركة المجرات فى كوننا على أنها ناتجة عن تمدد الكون نفسه.

ولابد أنه فى الأزمنة المبكرة كان مقدار المكان بين "النقاط" أو المجرات أكثر صغرًا بكثير عما هو عليه حاليًا. وإذا فكرنا فى الأزمنة المبكرة جدا، فلابد أن مقدار المكان المتاح كان على درجة من الصغر بحيث يمكن اعتباره متلاشيًا بشكل واقعى. وبهذا التصور البسيط، لابد أنه كان هناك زمن لم يكن المكان موجودًا فيه بالمرة. وبهذا المعنى، يمكن اعتبار الزمان محدودًا، لأنه لم يكن موجودًا منذ زمن لا نهائى.

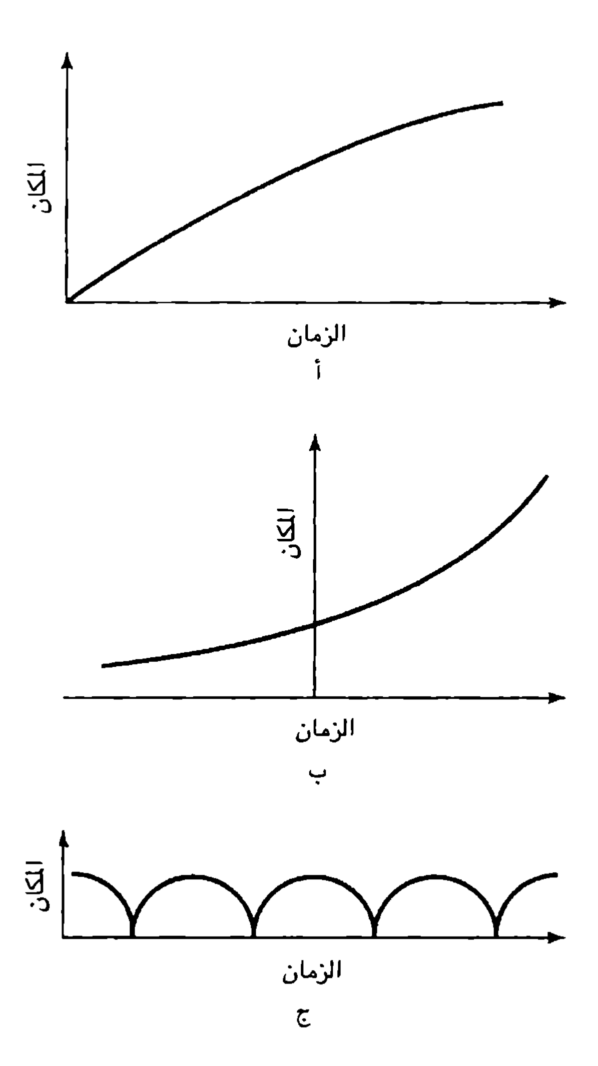
ولكن ماذا عن الزمان؟ لقد ناقشنا سابقًا كيف يجب أن يكون المكان والزمان معًا دائمًا. حقًا، لا يمكننا واقعيًّا أن نجد أحدهما منفصلاً عن الآخر. فإذا كان المكان محدودًا، فهل هذا ينطبق فعلاً بالضرورة على الزمان؟ وبتعبير آخر، هل للكون عمر محدود؟ الإجابة عن هذا السؤال قد تكون بنعم. وفى هذه الحالة، فإن المكان - الزمان هو ذو الأبعاد الأربعة بكامله، وليس مجرد المكان ذا الأبعاد الثلاثة، لابد أنه كان متلاشيًا عند وقت محدد فى الماضى. وبتعبير آخر، كان الزمان أيضًا غير موجود قبل هذا الوقت المحدد، وهكذا يكون للكون عمر محدود.

وهذا الوقت المحدد المشار إليه يُطلق عليه علماء الكونيات **المفردة**، وهى تتطابق مع "الانفجار العظيم" عندما ظهر الكون كله، بما فى ذلك المكان والزمان. وبشكل أكثر دقة فإن المفردة تمثل "حافة" الكون.

ويوضح الشكل ٤ - ٣ أ تمدد الكون الذى بدأ بالانفجار العظيم. فهناك مفردة أولية، ثم بدأ التمدد يتباطأ بسبب طبيعة الجذب الناتج عن الجاذبية. وبكلمات أخرى، يمكن توصيف المفردة بأنها أصل الكون، لأن تاريخ الكون لا يمكن رصده فيما قبل هذه النقطة.

ولا يمكننا أن نقرر بشكل نهائى فى هذه المرحلة ما إذا كان الشكل ٤ - ٣ أ يمثل حقًا كوننا. فرغم أن تمدد الكون يتلاءم مع فكرة وجود أصل للكون، فإنه لا يعطى فى حد ذاته برهانًا كافيًا على بداية الكون. ومثال لذلك، يحتمل أن الكون كان يتمدد خلال فترة محدودة من الزمن، كما هو موضح فى الشكل ٤ - ٣ ب. وتبعًا لهذا السيناريو تم التمدد بحيث يكون حجم الكون محدودًا كما هو عليه الآن، لكن لم يكن له أصل محدد.

وهناك احتمال ثالث لابد من وضعه فى الاعتبار، فملاحظاتنا تشير إلى أن الكون يتمدد خلال عصر حديث، لكن هذا لا يتضمن بالضرورة أنه كان فى حالة تمدد دائمًا. وفى الواقع قد يكون الكون قد شهد تقلصًا فى زمن ما خلال ماضيه البعيد قبل أن ينتقل فجأة إلى حالة التمدد.




شكل ٤ – ٣ : (أ) تمدد الكون بعد الانفجار العظيم. (ب) تمدد الكون فى عصر حديث لا يتضمن بالضرورة أن الكون له أصل. وقد يكون التمدد تم بطريقة تجعل حجم الكون متلاشياً فقط فى ماضٍ لا نهائى. (ج) وهناك بديل آخر، أن يكون الكون قد شهد سلسلة أبدية من التذبذب بين أحوال تمدد وتقلص متعاقبة.

ويشير هذا الاحتمال إلى أن الكون قد يكون فى قدرته أن يتذبذب بين خالتى تمدد وتقلص، وليس هناك – من حيث المبدأ – حدود لعدد المرات التى يمكن أن تتكرر فيها هاتان الحالتان ، ولهذا يمكن أن تتكرر هذه الدورة مرات غير محدودة، والتصور الناتج عن ذلك يمثل كونًا يتقلص ويتمدد إلى الأبد، كما هو موضح فى الشكل ٤ – ٣ ج. وكما هو الحال فى المثال الثانى، لا يحتاج هذا الكون إلى أصل محدد.

وفى الختام يتضح لنا، حسب ما رأيناه فى هذا الفصل، أن نظرية أيذشتاين عن الجانبية تؤدى بنا إلى فكرة كون متمدد، وإلى أن هذا التمدد يحدث لأن المكان _الزمان واقع تحت تأثير عملية مط. والسؤال الذى يتبادر إلى الذهن: أى احتمال من الاحتمالات الثلاثة التى قدمناها فى الشكل ٤ – ٣ هو الذى يمثل الكون الذى نعيش فيه؟ وسوف نناقش فى الفصول القادمة مزيداً من الأدلة التى تستند إلى الملاحظات والأدلة النظرية التى تميل إلى صحة السيناريو الموضح فى الشكل ٤ – ٣ أ.

وقبل أن نتدبر أمر هذه الأدلة نحتاج إلى فهم كيفية سلوك المادة عندما كان الكون أكثر صغراً. لا بد أن درجة حرارة الكون الصغير كانت بالغة الارتفاع حتى أن النوى الذرية لم يكن فى استطاعتها الاستمرار فى التواجد، وأن مادة الكون كانت كلها عبارة عن جسيمات أولية. لذلك فإننا سوف نتحول، فى الفصل القادم، من مناقشة الأشياء الضخمة فى الكون، أى المجرات، إلى مناقشة الأشياء الأصغر التى كانت موجودة ، ألا وهى الجسيمات الأولية.



# الفصل الخامس

# الجسيمات والقوى

يشبه استكشاف موضوع الجسيمات الأولية إلى حد ما محاولة التجول فى حديقة حيوانات بدون الاستعانة بدليل لمعرفة أنواع الحيوانات المختلفة التى نمر عليها. فكيف إذن نفهم أيًّا منها؟ سوف نبدأ بإجمال بعض الخواص التى تبديها الجسيمات الأولية. ومن المفيد أن نتصور كل جسيم على أنه كرة صغيرة لها صفات أساسية: شحنة كهربائية وكتلة ولف. ويمكن وصف الجسيمات المختلفة بواسطة هذه الكميات الثلاث الأساسية.

والشحنة الكهربائية مفهوم معتاد، وبعض الجسيمات تحمل هذه الشحنة وهناك جسيمات أخرى لا تحملها. والتى لا تحمل شحنة كهربائية توصف بأنها متعادلة كهربائيًّا. وبالمثل فإن بعض الجسيمات لها كتلة وجسيمات أخرى لا كتلة لها. وكتلة الجسيم تساهم فى طاقته الكلية، لأن الكتلة هى مجرد شكل آخر من أشكال الطاقة، ويمكن تحويل الكتلة إلى طاقة والعكس بالعكس، وفعلاً قد تنتج كمية ضخمة من الطاقة من كتلة صغيرة نسبيًّا.

وكمية اللف التى يحملها الجسيم تحدد معدل دورانه. ويمكننا تصور لف الجسيمات على أنها دوران حول محور. والإلكترون مثال للجسيم الذى له لف. ولف كل الجسيمات الأولية مقيد بصرامة، والجسيمات التى تدور ترتبط مباشرة بلف الإلكترون.

وتُقسّم الجسيمات الأولية إلى مجْموعتين رئيسيتين تبعًا لمقدار اللف الذى تحمله. ويُشار إلى هاتين المجموعتين بالاسمين بوزونات وفيرميونات، وتعود هاتان التسميتان إلى عالمى الفيزياء النظرية ساتيندرا بوز وإنريكو فيرمى. والجسيمات التى لها لف صفر أو ضعف لف الإلكترون تعتبر مثالاً للبوزونات، وتلك التى لها نفس لف الإلكترون أو ثلاثة أضعافه هى الفيرميونات. ويعتبر الإلكترون من الفيرميونات.

وتتصرف البوزونات بشكل مختلف جدا عن الفيرميونات. ويُظهر الاختلاف الأكثر أهمية نفسه عندما يُقيد عدد كبير من الجسيمات فى منطقة بالغة الصغر من المكان. ويمكن تصور الفيرميونات ككرات صلبة، مثل البلية. وهناك حد لحشد كثير من الفيرميونات فى نفس المكان، تمامًا كما أن هناك جدا لإمكانية تجميع كثير من البلى فى صندوق. وبالعكس ليس هناك حد لحشر كثير من البوزونات معًا. ويمكن تصور البوزونات كما لو كانت جسيمات طيّعة جدا. وباختصار فإن البوزنات ليّنة والفيرميونات صلبة.

وتعتبر اثنا عشر جسيمًا أساسيًّا لبنات بناء كل المادة التى نعرفها الآن، وللجسيمات الاثنى عشر نفس اللف وتعتبر فيرميونات، ويمكن تصنيفها على هيئة عائلتين كل منها تحتوى على ستة جسيمات. وهاتان العائلتان تعرفان بالكوركات واللبتونات، ويعتبر الإلكترون، وهو من اللبتونات، أخف عضو فى عائلته يحمل شحنة كهربائية. والكواركان الأكثر خفة يعرفان بالكوارك "الأعلى" والكوارك "الأسفل" على التوالى.

وتتصرف الكواركات واللبتونات بشكل مختلف تمامًا عن بعضها البعض، وبشكل خاص فإن اللبتونات تستطيع أن توجد منفصلة، بينما الكواركات تميل إلى المخالطة إلى حد بعيد. ولم نجد أبدًا كواركات لها هويات مستقلة، فإنها تتجمع دائمًا مع بعضها البعض على هيئة ثنائيات أو ثلاثيات، (وسنرى سبب ذلك بعد قليل).

والبروتونات والنيوترونات يعتبران مثالاً لثلاثيات الكواركات. ويتكون البروتون من كواركين علويين وكوارك سفلى، بينما يتكون النيوترون من كوارك علوى وكواركين

سفليين. ويعزى الاختلاف بين البروتون والنيوترون إلى اختلاف خواص الكواركين العلوى والسفلى، بذلك فإن للنيوترون كتلة أكبر قليلاً من كتلة البروتون لأن الكوارك الأسفل أكثر ثقلاً بقليل من الكوارك الأعلى.

ما الذى يجعل الكواركات مرتبطة ببعضها البعض على هيئة أزواج وثلاثيات، بينما تبقى اللبتونات حرة؟ للإجابة عن هذا السؤال نحتاج إلى معرفة سبب تفاعل الجسيمات مع بعضها البعض. وبمعنى آخر، علينا أن نحدد القوى التى تؤثر بينها. ولقد ناقشنا فى الفصل السابق قوة الجاذبية التى تؤثر على كل الجسيمات الأولية. من ناحية ثانية هناك ثلاث قوى أخرى أساسية تضاف إلى الجاذبية، وهى القوة الكهرومغناطيسية والقوة الشديدة والقوة الضعيفة. ولقد رأينا سابقًا كيف يمكن وصف الجاذبية على أنها انحراف فى المكان - الزمان. فكيف نصف هذه القوى الثلاث الأخرى؟

دعنا نبدأ بالقوة الكهرومغناطيسية، التى تعمل بين الجسيمات المشحونة كهربائيًا. معروف أن الشحنات الكهربائية المتضادة تتجاذب، بينما تتنافر الشحنات الكهربائية المتشابهة. تصور ما يحدث عندما ينطلق إلكترونان، لهما نفس الشحنة السالبة، نحو كل منهما الآخر فى اتجاه معاكس. كلما تقاربا تبدأ حركتهما فى التباطؤ، وعند نقطة محددة يسرعان بالابتعاد كل منهما عن الآخر. وفى هذه الحالة فإن القوة الكهرومغناطيسية للجسيمين قد غيرت كلاً من سرعتها واتجاه حركتها.

وبشكل ما تشبه هذه العملية ضرب كرتى قدم ببعضهما البعض، فعندما تتصادمان وجهًا لوجه، ترتد الكرتان إلى الخلف فى اتجاهين متعاكسين. وليس التماثل هنا كاملاً تمامًا، لأن الإلكترونين ليسا مثل كرتى القدم من ناحية أنهما لا يلمسان فعلاً بعضهما البعض. وما يحدث فعلاً أنه عند اقتراب الجسيمين من بعضهما البعض فإنهما يتبادلان المعلومات، وعند هذه النقطة يكتشفان أن لهما نفس الشحنة الكهربائية ولذلك عليهما أن يتباعدا عن بعضهما.

كيـف يمكن تبـادل المعلومـات بين الإلكـترونين؟ للإجـابة عن هذا السـؤال علينا أن نسـتطرد فى المناقـشـة قليـلاً. تصـور مـا يوجد داخل حـاوية مغلقـة خـاليـة من المادة والإشـعـاع، إنهـا تمثل فراغًـا. وتعريف الفراغ أنه شىء خـال تمـامًـا، وله طاقة تسـاوى صـفـر. والسؤال الآن حول كيفيـة مـعرفتنا تجريبيًّا بما إذا كـان الصندوق فـارغًا فى الواقع أم لا.

قد يكون علينا أن "نفـحص مـا فى داخل" الحاوية، بأن نرسـل حزمة ضـوئيـة ونقيس مـا فـى الداخل. لكن الضوء ينتقل بسـرعة محددة ويسـتغرق وقـتًا مـحدداً لاسـتكمـال هذا القيـاس. ولأننا لا يمـكننا أن نقـرر أن الصندوق فـارغ حـقـا إلا إذا وصل الضـوء إلى كشـافات الموجات الكهربائيـة أو الأنشطة الإشـعـاعيـة، فليس لدينا طريقة لمعرفة مـا إذا كان الصندوق خـال خلال عمليـة القياس أم لا. وفى الواقع يمكن للطاقة داخل الصـندوق أن تتقلب ولو قليـلاً حول الصفـر، والمعيار الوحيد ألا يؤثر هذا التقلب على نبضـة الضـوء بأية طريقة كانت وأن ينتهى هذا التقلب قبل إتمام عملية القياس.

من هنـا فـإنـه لا يمكـن تحـديد الطاقـة الموجـودة فى الصـندوق بشكل دقـيق، حتى لو كـان لدينا جـهـاز قـيـاس مـثـالى. فـهناك دائمًـا عـدم يقـين فعلى حـول كـمـيـة الطاقـة الموجودة عند لحظـة مـعينة. ويضـاف على ذلك، أنـه حيث أن الكتلة متكافـئـة مع الطاقـة، فإن هذا التقلب فى الطاقة يمكنه أن يُظهر نفسه على هيئة إيجاد تلقـائى لجسيمات من الفراغ، وحيث أن هذه الجسيمات تتلاشى مرة أخرى إلى لا شىء قبل استكمال عملية القياس، فإنه لا يمكن رصدها توّاً.

ومن المدهـش أن هذا هو مـا يحدث فـعلاً. فـالجسيمـات يتم إيجادها باسـتمرار من لا شىء طالما كـانت الطاقـة تتقلب ثم تتلاشى مـرة أخرى، لكن هذه الجسـيمات تتـلاشى بسـرعـة كبيـرة بحيث لا يمكن أبـداً مـلاحظتـهـا فـوراً. ويطلق على هذه الجـسـيمـات اسم الجسيمات التقديرية.

وتشـبه هذه العمليـة إلى حـد مـا مشـاهـدة كـوميـديا كـلاسـيكيـة عـادية حـيث يخـتفى الممثل الأبله عن عين الشرطـة، فضـابط الشـرطة لديه إحسـاس بأنه مُرَاقب، لكنه عندمـا

ينظر حوله لا يجد أحداً. وبمجرد أن يدير الضابط ظهره، يظهر الأبله من خلف شجرة ويلقى نظرة عليه، وعندما يستدير الضابط مرة أخرى، يكون الأبله خلف الشجرة من جديد. وفى هذا المثال يمثل ضابط الشرطة القائم بالتجربة، الذى يجرى "القياس" بالالتفاف حوله، ويمثل الشخص الأبله الذى لا يمكن رؤيته الجسيم التقديرى.

ولابد أن تظهر الجسيمات التقديرية وتختفى على هيئة أزواج. ولمعرفة سبب ذلك، تصور إلكتروناً يظهر فجأة فى الوجود قادماً من الفراغ، فقبل ظهور الإلكترون تكون الشحنة الكهربائية المؤثرة صفر حيث أن الجسيم غير موجود. ومعروف أن الإلكترون يحمل شحنة سالبة. وحيث أن الشحنة الكهربائية الإجمالية تظل باقية دائماً فى أية عملية فيزيائية، يجب أن يكون الإلكترون مصحوباً بجسيم ثان يحمل كمية مساوية من الشحنة الموجبة. وهذا يؤكد أن شحنة الإلكترون تلغيها تماماً الشحنة المضادة للجسيم الثانى، وتظل الشحنة الإجمالية صفر خلال هذه العملية.

ويُعرف الجسيم الثانى فى هذا الزوج من الجسيمات التقديرية **بالبوزترون**(٧)، الذى يمكن ظهوره **كجسيم مضاد** للإلكترون. ويمكن أن يوجد البوزترون فى الطبيعة كجسيم حقيقى بنفس طريقة وجود الإلكترون، لكنه لا يظل موجوداً فترة طويلة فى الكون الراهن. وبوجه عام فإن كل أنواع الجسيمات، مثل الكواركات واللبتونات، لها جسيمات مضادة تصاحبها. وللجسيم ومضاده نفس الكتلة واللف الأساسى، لكن للإثنين شحنتين **متضادتين**. (وإذا كان الجسيم متعادل الشحنة فإن مضاده يكون كذلك).

ولا يكون الأمر على ما يرام بين الجسيمات ومضاداتها، وبمجرد تقابلها فإنها تبيد بعضها البعض فوراً، ويمكن تصور الجسيم وجسيمه المضاد بأنهما خصمان فى مبارزة قتال بالمسدسات، وبدلاً من أن يقفا بحيث يبتعد كل منهما عن الآخر عشرين خطوة، فإن الخصمين يظلان أقرب ما يكونان إلى بعضهما وتكون النتيجة إصابتهما معاً عندما يطلقان مسدسيهما.

(٧) البوزترون positron : جسيم موجب ذو كتلة تعادل كتلة الإلكترون. (المترجم)

والخلاصة أن الجسيم التقديرى الذى يأتى من لا شىء يكون مصحوبًا بالضرورة بجسيماته المضادة، والعداء المتأصل بين الجسيمات ومضاداتها كفيل بجعلها تمحق بعضها البعض بمجرد ظهورها فى الوجود. وللجسيمات التقديرية عمر بالغ القصر حتى أننا لم يكن لدينا أبدًا ما يكفى من الوقت لكى نرصدها فور وجودها، وهذا هو سبب تسميتها بالجسيمات التقديرية. والسمة الأساسية لكل الجسيمات الأولية أنها حرفيًّا تأتى من لا شىء.

وعلى أية حال فإننا نواجه هنا مشكلة ما، حيث تبدو العملية التى وصفناها توًّا بأنها تنتهك قاعدة بقاء الطاقة. فإذا كانت قاعدة بقاء الطاقة سليمة على الدوام، فلابد أن تكون الكمية الكلية للطاقة قبل إجراء أية عملية هى نفسها بعد إجرائها، أو بقول آخر إنه لا يمكننا استخلاص طاقة من لا شىء . ومجمل الفكرة وراء هذه القاعدة تكمن فى القول الشائع "لا يوجد شىء بدون مقابل".

ويجب أن يكون الفراغ خاليًا عندما نرصده ويجب أن تكون طاقته مساوية للصفر، لذلك فإن المشكلة تتمثل فى: إذا لم تكن هناك طاقة متاحة قبل إجراء العملية، فما هو مصدر الطاقة التى تتيح للجسيمات التقديرية أن تظهر، وألا يعنى ذلك أننا نحصل على شىء من لا شىء ؟

حسنًا، ليس بالضرورة. تصور ما يحدث للشحنة الكهربائية عند ظهور إلكترون وجسيم مضاد له. تكون الطاقة الإجمالية صفر خلال العملية، ولكن للحظة قصيرة تصبح هذه الطاقة منقسمة إلى كميتين متساويتين من شحنة موجبة وأخرى سالبة. وتماثل هذه العملية لجمع ناقص واحد وزائد واحد، فتظل النتيجة الكلية صفر.

ويمكن تطبيق برهان مماثل على الطاقة والجسيمات. للإلكترون طاقة موجبة، وبمعنى ما فإن الجسيم المضاد له كمية مساوية من الطاقة "السالبة"، وبهذا تظل الطاقة الكلية صفر خلال عملية ظهورهما وعملية إبادة الجسيم التقديرى ومضاده.

ولأننا تعودنا على أن تكون الطاقة موجبة فى خبرات حياتنا اليومية، فقد يبدو هذا المفهوم عن الطاقة السالبة غريبًا بعض الشيء فى البداية، ولكن يمكن لبعض أنواع الطاقة أن تكون سالبة فعلاً. وبالدرجة الأولى تعتبر الطاقة السالبة ذات أهمية خاصة لفهم كيفية ظهور الكون، وسوف تلعب نفس الفكرة دورًا مهمًا فى مناقشتنا للثقوب السوداء.

ويتمثل أحد أمثلة الطاقة السالبة فى الطاقة المصاحبة لقوة الجاذبية. افترض وجود جسم أسفل تل، علينا أن نبذل جهداً للتغلب على قوة الجاذبية لكى نرفع هذا الجسم ونضعه أعلى التل. لقد فقدنا طاقة فى عملية رفع وحمل هذا الجسم، وحيث أن كمية الطاقة الكلية الموجودة لابد من أن تكون محفوظة دائمًا، فإن على الجسم أن يكتسب هذه الطاقة التى فقدناها. ولابد أن طاقته بعد رفعه إلى قمة التل أكثر من طاقته أسفل التل.

ويمكننا أن نعكس هذه المناقشة بأن نبدأ مع الجسم وهو على قمة التل، فإذا كان علينا أن نقذف بالجسم إلى أسفل التل، فإنه سيفقد طاقة، حيث تكون طاقته أقل وهو فى الوضع السفلى. إذن فإن فقد طاقة موجبة بهذه الطريقة يعادل اكتساب طاقة سالبة.

لقد توصلنا إذن إلى أن الفراغ ليس مكانًا بسيطًا، كما كنا نظن، حيث **يبدو** عليه أنه خال عندما نقيسه لكن الحقيقة مختلفة تمامًا. وفى الواقع فإن الفراغ بيئة نشيطة جداً مليئة بالجسيمات التقديرية التى تظهر وتُباد بشكل مستمر.

ويُطلق على تذبذب الطاقة، عمومًا، التقلبات الكمية(٨).

ويسرى عدم اليقين المتأصل فى قياس طاقة الفراغ على كل المنظومات الفيزيائية، بما فى ذلك الجسيمات الأولية الحقيقية. وتتضمن هذه الملحوظة أنه يستحيل قياس طاقة جسيم بشكل دقيق، فإذا لم يكن فى استطاعتنا تحديد طاقته فلن يمكننا أبداً تحديد سرعته أو مكانه بالضبط. وسوف يتبين لنا فى الفصول المقبلة أن هذا الغموض

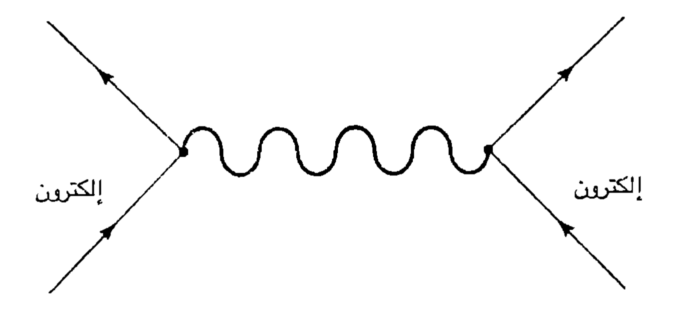
(٨) تقلب fluctuation : يستخدم هذا المصطلح لوصف كمية فيزيائية تتراوح أعلى وأسفل قيمة متوقعة، مثل التيار الكهربائى المتقلب. وتنتسب التقلبات هنا إلى النظرية الكمية. (المترجم)

فى مكان الجسيم بسبب التقلبات الكمية أمر مهم جدا عند مناقشة أصل المجرات، وأخيراً عند مناقشة أصل الكون نفسه.

ولقد أصبح فى قدرتنا الآن أن نعود إلى سؤالنا الأصلى حول كيفية اتصال الإلكترونات ببعضها البعض واكتشاف أن لها نفس الشحنة الكهربائية. وسوف تتيح لنا الإجابة وصف كيفية انتقال قوى الطبيعة.

والفكرة العامة أن أى جسيمين حقيقيين يتبادلان باستمرار جسيمات تقديرية، يتمثل دورها فى حمل المعلومات بين الجسيمات الحقيقية. وعلى الجسيمات التقديرية أن تبلّغ الجسيمات الحقيقية بأنها على وشك اللقاء. وتبعًا للمعلومات التى تستقبلها الجسيمات التقديرية، فإنها تغير اتجاهها. ونفسر نحن الراصدين هذا التغير فى الاتجاه، والسرعة بالتالى، على أنه ناتج عن قوة ما. وهذه القوة تنجم عن تبادل جسيمات تقديرية.

وعندما يتقابل إلكترونان بهذه الطريقة فإنهما يتبادلان ما يُعرف باسم **الفوتونات** التقديرية. ويوضح الشكل ٥ – ١ عملية التبادل هذه، والمسارات التى تتبعها الإلكترونات موضحة بواسطة الخطوط المستقيمة، والجسيمات التقديرية مرسومة بخط متموج. ويخبر الفوتون الإلكترونات بأن لكل منهما نفس الشحنة السالبة وأن عليهما أن يتباعدا عن بعضهما البعض.




شكل ٥ – ١ إلكترونان أ يقتربان من بعضهما البعض ويتنافران بتبادل فوتون تقديرى، كما يوضح الخط المتماوج.

ويمكن عرض الفوتون، ويتصف بأن كتلته صفر وشحنته الكهربائية صفر ، على أنه الجسيم المماثل للإشعاع الكهرومغناطيسى. وحيث أن طاقة موجة كهرومغناطيسة تزداد مع زيادة طول موجتها، فإنه يكون للموجة ذات الطاقة بالغة الارتفاع، مثل أشعة جاما، طول موجة قصير جدا. والأكثر ملائمة فى هذا المثال أن نعتبر الموجة جسيم موجود حيث توجد قمة الموجة.

وقد يساعدنا أن نتصور الإلكترونين اللذين يقتربان من بعضهما فى الشكل ٥ – ١ كما لو كانا شخصين يتزلجان على الجليد ويقتربان من بعضها، وعندما يصبحان على وشك الاقتراب الشديد فإن كلا منهما يقذف طوبة فى اتجاه الآخر. وتمثل الطوبتان الفوتونين التقديريين. وعلى المتزلجين أن يغيرا اتجاههما عندما يتبادلان القذف بالطوب بهذه الطريقة لكى يحافظا على قوة اندفاعهما. وحاصل الأمر، أن عليهما أن يتحركا فى الاتجاه المضاد للمسار الذى سلكته الطوبتان اللتان أطلقاهما توًا، وبهذا فإنهما يتحركان مبتعدين كل منهما عن الآخر، وهذا هو بالضبط ما يحدث بالنسبة للإلكترونين.

وإلى هنا نكون قد ناقشنا كيفية تنافر الإلكترونات عن بعضها البعض بواسطة الفوتونات التقديرية. وهذا الوصف للقوة باعتبارها تبادل جسيم تقديرى لا يقتصر تطبيقه فقط على الإلكترونات، وسوف نستخدم نفس الفكرة فى وصف القوى الأخرى أيضًا. وتتضمن الصورة الشاملة أن كل قوة فى الطبيعة تنتقل بواسطة مجموعة خاصة من الجسيمات التقديرية. ويتم تحديد الصفة المعينة لكل قوة عن طريق خواص الجسيمات التقديرية التى تصاحب هذه القوة. وتعتبر كل قوة مختلفة عن الأخرى لأن كلا منها ينتقل بواسطة نوع مختلف من الجسيمات التقديرية. وعندما يتقابل أى جسيمين فى الكون، فإنهما يتبادلان جسيمات تقديرية متنوعة، ويتحدد الاختيار الدقيق لجسيمات التبادل تبعًا لخواص الجسيمات الحقيقية المعنية. ومن المفيد فى هذه المرحلة من المناقشة أن نلخص أنواع القوى المؤثرة فى الكون الراهن كما يلى:

١ - **القوة الكهرومغناطيسية:** وهى القوة المؤثرة بين كل الجسيمات التى تحمل شحنة كهربائية. وتتعرض الإلكترونات والكواركات والبروتونات لهذه القوة، لكن النيوترونات لا تتعرض لها. وفى داخل الذرات تقيّد هذه القوة الإلكترونات سالبة الشحنة إلى المدار حول النواة موجبة الشحنة. والجسيمات التقديرية المصاحبة للقوة الكهرومغناطيسية هى الفوتونات.

٢ - **القوة الضعيفة:** تؤثر القوة الضعيفة على الكواركات واللبتونات وهى مسئولة عن بعض أنواع الاضمحلال الإشعاعى. وكما هو واضح من اسمها فإنها تكون ضعيفة إلى حد ما. ولا نشعر بهذه القوة مباشرة كما هو الحال مع القوة الكهرومغناطيسية وقوة الجاذبية لأن نطاقها بالغ القصر. ويمكن لها أن تؤثر على المسافات التى تعتبر أصغر مائة مرة من حجم البروتون. ويجب أن تكون الجسيمات على مثل هذا البعد على الأقل حتى تتأثر بهذه القوة الضعيفة، وإذا كان الفاصل بينها أكبر من هذه المسافة، لن تتلقى الجسيمات تأثيرات هذه القوة.

لماذا يكون نطاق تأثير القوة الضعيفة بهذا الصغر؟ بشكل عام يتم تحديد نطاق قوة ما بواسطة كتل الجسيمات التقديرية التى يتم تبادلها. افترض أننا نعرض جسيم تقديرى باعتباره موجة واحدة، ولقد أوضحنا سابقًا كيف يمكن تقديم فوتون على أنه متماثل مع موجة كهرومغناطيسية، وبطريقة مماثلة يكون للجسيمات ذات الكتل أيضًا خواص تشبه الموجة. والآن، لقد رأينا أيضًا أن طاقة موجة ترتبط بطول هذه الموجة، فالطاقة الأعلى تناظر طول موجة أقصر. وحيث أن الطاقة تعادل الكتلة، تناظر الكتلة الأعلى أيضًا الطاقة الأعلى وبالتالى طول الموجة الأقصر.

وبهذا المعنى، فإن طول موجة جسيم تقديرى ذو كتلة هو الذى يحدد نطاق تأثيره على الجسيمات الحقيقية التى يصاحبها، فالجسيم التقديرى ذو الكتلة الأكبر ينتج عنه نطاق أقصر والعكس بالعكس. ويتم نقل القوة الضعيفة بواسطة تبادل جسيمين تقديريان يطلق عليهما الجسيمان دبليو W وزد Z ، وهما جسيمان ثقيلان جدًا مقارنة بجسيمات مثل الإلكترون والبروتون، وهذه هى السمة التى ينتج عنها النطاق القصير للقوة الضعيفة.

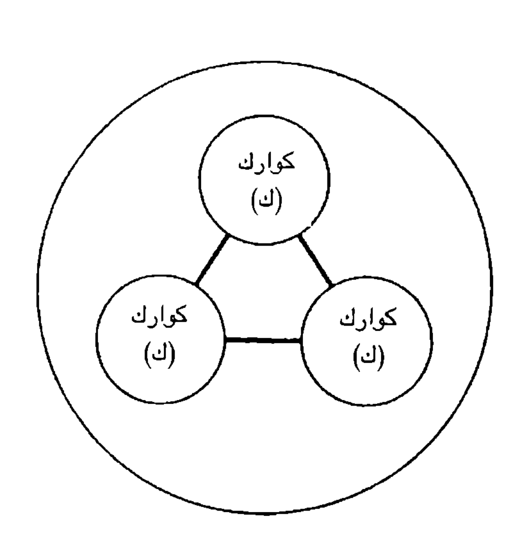
٣ - **القوة الشديدة:** لقد أشرنا بالفعل إلى أن نواة الذرة تتكون من بروتونات ونيوترونات ترتبط ببعضها بإحكام. وهذا أمر مبهم إلى حد ما لأننا نعرف أن للبروتنات شحنات كهربائية موجبة، ونتوقع أن تتنافر البروتونات فيما بينها، خاصة وأنها قريبة من بعضها البعض بدرجة كبيرة فى النواة. وينتج عن عرضنا السابق أن البروتونات تتفاعل من خلال القوة الكهرومغناطيسية عن طريق تبادل فوتونات تقديرية، لكن هذا التبادل يؤدى إلى الانفجار العنيف للنواة، فما الذى يوقف فى هذه الحالة النواة عن التحطم؟

يتفاعل البروتون فى نواة الذرة فعلاً عن طريق الكهرباء المغناطيسية، لكن هناك قوة أخرى تعمل بين البروتونات والنيوترونات، وهى قوة أقوى بكثير من القوة الكهرومغناطيسية، بحيث يصبح تأثير القوة الكهرومغناطيسية غير جدير بالاعتبار داخل النواة. وهذه القوة الإضافية تعتبر قوة جِذب، لذلك فإنها تحافظ على تماسك النواة.

وتُعرف هذه القوة بأنها القوة الشديدة، ويتم نقلها عن طريق جسيمات يطلق عليها "جليونات" gluons، وتم إطلاق هذا الاسم عليها لأنها تلحم النواة بشدة كأنها "غِراء" glue .

وفى الواقع فإن القوة الشديدة تعمل بين جسيمات الكواركات، وهى مسئولة عن بقاء الكواركات متلاصقة ببعضها البعض داخل النيوترونات والبروتونات. ولا تتأثر اللبتونات بالقوة الشديدة، وهذا أحد الأسباب المهمة التى تجعل الكواركات واللبتونات مختلفة تماماً.

دعنا نرى كيفية التفاعل بين الكواركات الثلاثة داخل بروتون مع بعضها البعض. ويوضح الشكل ٥ - ٢ البنية الداخلية للبروتون، حيث يرتبط كل كوارك بالكواركين الآخرين بواسطة الجليونات. وتعبر الخطوط المستقيمة فى هذا الشكل عن الجليونات.




شكل ٥ – ٢ يتكون البروتون من ثلاثة كواركات (ك). وترتبط الكواركات ببعضها بواسطة الجليونات، التى تمثلها الخطوط المستقيمة ويمكن تصورها على أنها أربطة مرنة بالغة الصغر.

ويمكن تصور الجليونات على أنها أربطة مرنة بالغة الصغر تربط الكواركات ببعضها البعض. وبسبب هذه السمة نحصل على بعض الخواص الفريدة للقوة الشديدة، فعندما تكون الكواركات قريبة من بعضها داخل البروتون، تكون الأربطة المرنة غير ممطوطة وغير مهمة نسبياً، ومن ثم تكون الكواركات حرة بالفعل ولا تأخذ فى اعتبارها وجود الجليونات. لكن إذا حاولت الكواركات أن تتحرك مبتعدة عن بعضها، تصبح الأربطة المرنة ممطوطة وتجذب الكواركات لتعيدها مجتمعة مع بعضها. لذلك فإن شدة القوة الشديدة "تزداد" عندما تكون الكواركات أكثر بعداً عن بعضها. ويناقض ذلك القوى الثلاث الأخرى فى الطبيعة، التى تتناقص قوتها كلما ابتعدت الجسيمات التى تتفاعل معها.

وتمنع مرونة الجليونات الكواركات من الانفصال عن بعضها أكثر من نحو ١٠ $^{-١٥}$ أمتار. ويتم جذب الكواركات ببساطة لتعود إلى البروتون إذا حاولت أن تهرب بعيداً عنه، وبمجرد وجود ترابط بين الكواركات لا يمكنها أن تهرب من بعضها البعض.

ومع ذلك ليست هذه هى القصة بكاملها. ومن السذاجة أن يظن المرء أنه لابد من وجود قوة جذب هائلة بين كواركين يبتعدان عن بعضهما بمسافة طويلة جدا. وفى هذا الإطار نأخذ مثالاً لكواركين موجودين داخل بروتونين مختلفين. إذا كانت القوة الشديدة تعمل بين هذين الكواركين بنفس طريقة عملها بين كواركين فى بروتون واحد، فالنتيجة ستكون أن هذين البروتونين لابد أن يتجاذبا بشدة بالغة لبعضهما، لكن إذا حدث ذلك فإن كل النيوترونات والبروتونات فى الكون ستتجاذب إلى بعضها بنفس الطريقة، وستكون النتيجة النهائية نواة كونية عملاقة!

ولا يحدث هذا الأمر لأن الكواركات المترابطة تميل لأن تتفاعل فقط مع جيرانها القريبة. ومن المفيد التفكير فى كل كوارك على أن له رابطة مرنة واحدة فقط تصاحبه، وبمجرد ارتباط الكوارك بكوارك آخر بالطريقة الموضحة فى الشكل ٥ – ٢، فإن الجسيمات ستجد صعوبة بالغة فى التفاعل مع الكواركات الأخرى فى البروتونات الأخرى. وهكذا فإن نطاق القوة الشديدة بين البروتونات المختلفة بالغ الصغر. وأى بروتونين تكون المسافة بينهما أكثر من ١٠ - ١٥ أمتار لن يتأثرا بهذه القوة. ومن ناحية ثانية فإن البروتونات عندما تكون على مسافات أقصر من هذه المسافة الحرجة فإنها تتجاذب مع بعضها البعض. والبروتونات والنيوترونات داخل أى نواة ذرية تكون على مثل هذا القرب، لذلك فإنها تبقى مرتبطة ببعضها.

٤ – **الجاذبية:** رأينا فى الفصل السابق كيف أن قوة الجاذبية يمكن وصفها باعتبارها انحناء فى المكان – الزمان. فهل هناك وصف بديل للجاذبية يمكن التوصل إليه على أساس تبادل جسيمات تقديرية؟ وحيث أن القوى الثلاث الأخرى فى الطبيعة يمكن جعلها نماذج بهذه الطريقة، فقد يكون من الممكن استخدام هذا الوصف. ولقد استغرق كثير من الباحثين زمنًا طويلاً فى محاولة التوصل إلى مثل هذه النظرية عن الجاذبية. وكانت نتيجة هذه الجهود، التوصل إلى أن قوة الجاذبية يحملها جسيم تقديرى يعرف باسم جرافيتون. ومع ذلك فإن الوصف الرياضى المتماسك لمثل هذه العملية الذى يسرى على نطاق تكون فيه تفاعلات الجاذبية بالغة الشدة، مازال قيد البحث، ولم يتضح بعد ما إذا كان هذا الوصف ممكن فى هذا النطاق أم لا.

والخلاصة أننا عرفنا من هذا الفصل أنه يمكن تصنيف الجسيمات الأساسية إلى مجموعتين يعرفان باسمى الكواركات واللبتونات، وهما تتصرفان بشكل مختلف تماماً.

وبشكل خاص يمكن للبتونات أن توجد كجسيمات حرة لأنها لا تتأثر بالقوة الشديدة، لكن الكواركات تتأثر بهذا التفاعل وعليها أن تبقى مجتمعة على هيئة ثنائيات وثلاثيات، والبروتونات والنيوترونات التى تمثل نوى الذرات مثالان لثلاثيات الكواركات.

ويتم نقل القوى الكهرومغناطيسية والضعيفة والشديدة كلها عن طريق تبادل جسيمات تقديرية تظهر من الفراغ، ولهذه القوى خواص مختلفة لأنها تكون مصحوبة بجسيمات تقديرية مختلفة. ومثال لذلك، فإن نطاق القوة الكهرومغناطيسية غير محدود، لكن القوة الضعيفة لها نطاق بالغ القصر. وتظهر هذه الاختلافات بسبب أن الجسيم الناقل للقوة الكهرومغناطيسية، الفوتون، بدون كتلة، بينما جزيئا دبليو وزد الخاصان بالتفاعل الضعيف لهما كتلتان.

وفى الكون الراهن، فإن القوة الكهرومغناطيسية أكثر ضَعفًا بمائة مرة من التفاعل الشديد، والقوة الضعيفة أكثر ضَعفًا بمائة ألف مرة. ورغم أن قوة الجاذبية أكثر ضَعفًا بكثير من القوى الثلاث الأخرى، فإن لها نطاق لا نهائى ولذلك يمكنها أن تعمل على نطاق المسافات الكونية. ومن ناحية أخرى فإن الجاذبية تؤثر على كل الجسيمات، بينما تؤثر القوة الكهرومغناطيسية على الجسيمات المشحونة فقط. وتكون خاصية الجاذبية هذه، ويضاف إليها حقيقة أن الكون متعادل كهربائيًا على المقياس الكبير، وراء أنه فى العصر الكونى الراهن تحدده الجاذبية وحدها، وليس القوى الأخرى فى الطبيعة، الديناميكا الكونية فى مجملها.

وتعتمد الشدة النسبية للقوى بشكل كبير على درجات الحرارة المصاحبة لها. وقد تكون هذه الملحوظة غير مدهشة كما هو متوقع. فنحن نعرف مثلاً أن خواص أى مادة

يمكن أن تتغير كلما زادت درجة الحرارة، فكتلة من الجليد سوف تذوب ثم تتبخر إلى بخار إذا وضعت فى مرجل ساخن. وبطريقة مماثلة فإن الجسيمات التقديرية التى تنقل القوى تتصرف بشكل مختلف أيضًا عند درجات الحرارة بالغة الارتفاع. وهذه الحقيقة مهمة بالنسبة لدراستنا التى تدور حول الكون المبكر. وسوف نبحث فى الفصل التالى ما نتوقعه من سلوك للقوى الأربع في الطبيعة عند درجات الحرارة والطاقات بالغة الارتفاع.





## الفصل السادس

# النظرية الموحدة الكبرى والأبعاد الأعلى والأوتار الفائقة

يعتبر مقياس الطاقة للعمليات التى تحدث بشكل طبيعى على سطح الأرض منخفضًا نسبيا. وعند مستوى الطاقات هذه تكون قوى الطبيعة مختلفة عن بعضها البعض لأن الجسيمات التى تنقلها تتصف بخواص مختلفة. ومن ناحية أخرى، فإنه يتعذر التمييز بين القوة الكهرومغناطيسية والقوة الضعيفة عند درجات الحرارة التى تتجاوز ١٠^١٥ درجات، حيث تماثل هوية كل منهما الأخرى. وتمت ملاحظة هذه التحولات فى المعجلات الضخمة للجسيمات. ويشير هذا التماثل بين القوة الكهرومغناطيسية والقوة الضعيفة إلى احتمال أن يكونا عنصرى قوة أكثر تأصلاً فى الطبيعة. ويُقال فى هذه الحالة أن القوتين متوحدتان فى قوة كهروضعيفة عند درجات الحرارة الأعلى من ١٠^١٥ .

فما الذى يسبب هذا التوحد عند درجة الحرارة هذه بشكل خاص؟ نحن نعرف أن درجة الحرارة مجرد مقياس لكمية الطاقة الموجودة، فدرجات الحرارة الأعلى تناظر الطاقات الأعلى. بالإضافة إلى ذلك فإن الطاقة والكتلة متكافئتان، وفى هذا الإطار إذن ترتبط الكتلة ارتباطًا وثيقًا بدرجة الحرارة، وكل كتلة تناظرها طاقة ودرجة حرارة.

وتناظر كتلتا الجسيمين دبليو وزد درجة الحرارة ١٠^١٥ درجات. ولهذين الجسيمين نوعان من الطاقة اللذين تصاحبهما: أحدهما هى الطاقة المختزنة فى كتلتيهما، والأخرى الطاقة التى تتحدد بسرعة حركتيهما، وهى ما يطلق عليها الطاقة الحركية. ومع ارتفاع درجة الحرارة تزداد الطاقة الحركية للجسيمين، ومع ذلك تبقى الطاقة المختزنة فى الكتلة ثابتة، لأن كتلتى الجسيمين ثابتة .

وعند درجات الحرارة بالغة الارتفاع، تسيطر الطاقة الحركية للجسيمات على الطاقة المختزنة فى كتلها، وتكون النتيجة أن تسلك الجسيمات كما لو لم تكن لها أى طاقة. وبالنسبة للجسيمين دبلو وزد فإن الطاقة الحركية تبدأ هيمنتها عند درجة حرارة ١٠^١٥، لذلك فإن هذين الجسيمين **يسلكان كما لو كانا جسيمين بلا كتلة** فوق درجة الحرارة هذه، يسلكان مثل الفوتون تماماً.

وهناك نتيجة مهمة لهذا التوحيد بين القوة الكهرومغناطيسية والقوة الضعيفة، لأنه يعنى أنه سيكون هناك فقط ثلاث قوى مؤثرة مختلفة تعمل فوق درجة حرارة ١٠^١٥، وهى القوة الكهروضعيفة، والقوة الشديدة والجاذبية. ولأن القوة الكهرومغناطيسية والقوة الضعيفة أصبحتا متحدتين فمن الطبيعى أن نتساءل ما إذا كانت القوة الشديدة والقوة الكهروضعيفة يمكن أن تتحدا حتى عند درجة أكثر ارتفاعاً. فهل يمكننا أن نتوصل إلى أن هذا ما يحدث فعلاً ؟

ويجب التأكيد هنا على أن درجة الحرارة ١٠^١٥ تمثل أعلى مقياس للطاقة التى يمكن سبرها بواسطة التقنيات الحالية، وبمجرد ابتعادنا عن هذه الدرجة ندخل نطاق التخمين النظرى. ونضيف هنا أنه توجد دلائل نظرية قوية على أن القوة الشديدة والقوة الكهروضعيفة تتحدان فعلاً عندما تصل درجة الحرارة إلى ١٠^٢٧ درجات، ويُشار إلى هذا الاتحاد تحت اسم "النظرية الموحدة الكبرى"، التى يُشار إليها باختصار بالأحرف GUT.

وتعتبر أسباب هذا الاتجاه نحو مزيد من التوحيد هى نفسها بشكل أساسى نفس الأسباب التى تم عرضها سابقًا فيما يخص القوة الكهروضعيفة، حيث تبدأ كل الجليونات والفوتونات والجسيمان دبليو وزد فى التصرف بطريقة متماثلة لدرجة يصعب معها التمييز بين هذه القوى. وتتنبأ النظرية الموحدة الكبرى أيضًا بأهمية جسيمات تبادل جديدة، يطلق عليها جسيمات إكس X، عند درجة الحرارة هذه، وتؤدى الجسيمات إكس إلى أن تتحلل الكواركات إلى لبتونات وبالعكس. ولهذه الجسيمات كتلة تناظر درجة الحرارة ١٠^٢٧ درجات، وتتحلل بسرعة بالغة. وتعتبر تأثيرات هذه الجسيمات غير جديرة بأخذها فى الاعتبار تحت درجة الحرارة هذه لأنها تتحلل قبل أن تأخذ فرصة

التحرك بين جسيمين متفاعلين. وفى درجات الحرارة الأعلى يستطيع الجسيمان المتفاعلان الاقتراب أكثر من بعضهما البعض، وعند درجة حرارة $10^{27}$ يصبحان على درجة من الاقتراب تتيح لهما تبادل جسيمات إكس.

ولم تُعرف بعد الصيغة الدقيقة للنظرية الموحدة الكبرى التى تصف فيزياء الجسيمات، وتعتبر درجات الحرارة التى يمكن عندها رصد ظاهرة التوحيد الكبرى خارج إمكانيات أغلب معجلات الجسيمات على المستوى العالمى، لكن هذا الأمر لم يوقف علماء النظريات عن تخمين طبيعة تلك القوى التى ذكرناها. ونحن نعرف أن على هذه القوة الموحدة أن تتضمن القوى الشديدة والضعيفة والكهرومغناطيسية كمكونات لها، لذلك فإن هذا الشرط يقيّد عدد القوى المرشحة لأن تكون ضمنها.

وأحد الاختبارات الأساسية التى يمكن من خلالها بحث التنبؤات التى تمثلها النظريات الموحدة العظمى، موجود فى الأحوال بالغة السخونة التى كانت سائدة فى الانفجار العظيم. ففى الأزمنة المبكرة جدا يُحتمل وجود درجات حرارة أعلى من درجة الحرارة التى تبدأ فيها فعالية القوة الموحدة الكبرى. وإذا كانت فكرة التوحيد صحيحة، قد تكون هذه القوة قد سادت الكون فى هذه الأزمنة المبكرة. وقد يكون لهذه القوة أيضاً تأثير مهم على الطريقة التى سار فيها الكون لكى يصبح على حالته الراهنة.

ويشير ذلك إلى أننا قد نصبح قادرين على سبر صحة النظرية الموحدة الكبرى بتوحيد فيزياء الجسيمات وعلم الكونيات. وتتمثل هذه الفكرة فى البدء بالنظرية الموحدة الكبرى ثم تطوير نموذج نظرى يتتبع تاريخ الكون منذ لحظاته المبكرة حتى وصوله إلى وضعه الراهن. وتقود هذه العملية إلى تنبؤات نظرية بما يجب أن يكون عليه الكون. ومن الناحية الأساسية، يمكن مقارنة هذه التنبؤات بالكون الحقيقى الذى نعرفه، فإذا توافقت الملاحظة مع النظرية إلى حد مقبول، يمكن القول بأن النظرية الموحدة الكبرى صحيحة. وإذا لم يحدث هذا التوافق، يمكن استنتاج أن النظرية الجارى بحثها خاطئة. وبالفعل تم إجراء هذه المضاهاة خلال العقد السابق لإعلان بطلان بعض النظريات الموحدة الكبرى الأكثر بساطة.

ويتمثل ملخص ما توصلنا إليه سابقًا فى أن توحد القوى الكهرومغناطيسية والضعيفة والشديدة عند درجات حرارة بالغة الارتفاع، يشير إلى أن هذه القوى الثلاث ذات أصل مشترك، لكن ما طبيعة هذا الأصل؟

ويضاف إلى ذلك السؤال: هل يمكن إدخال الجاذبية فى هذا التصور؟ ولقد رأينا كيف أن الجاذبية تُظهر نفسها كانحناء فى المكان – الزمان، ولكن ما علاقة ذلك بالقوة الموحدة الكبرى والجسيمات التقديرية؟ هذا ما سوف نتابع تقديمه مع أسئلة متعلقة به، فيما تبقى من هذا الفصل.

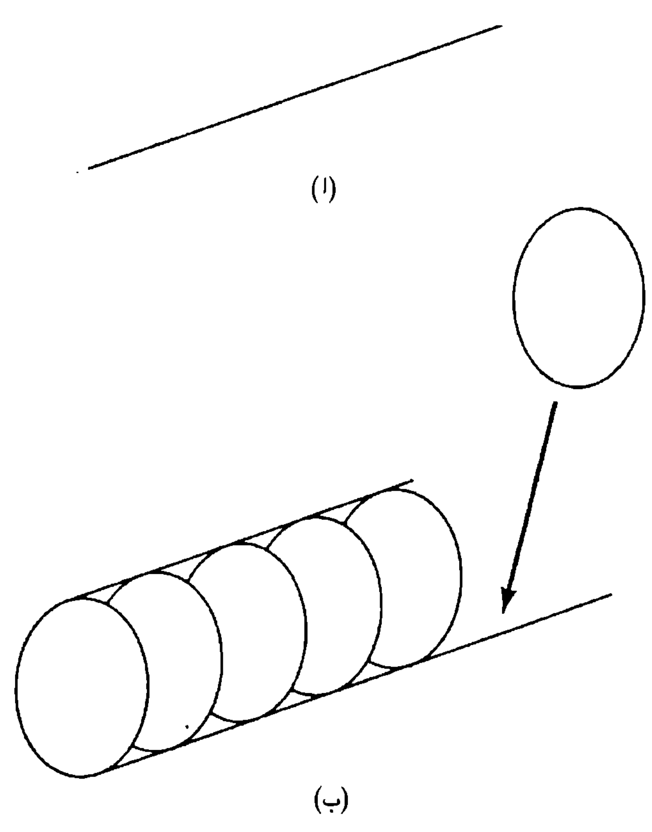
عندما أُعلنت نظرية أيذشتاين عن النسبية العامة لم تكن القوتان الشديدة والضعيفة معروفتين بعد. وكان العلماء يعتقدون أن القوى التى تتحكم فى الطبيعة هما قوتا الجاذبية والكهربائية المغناطيسية. وتقدم نظرية النسبية العامة تفسيراً لتأثيرات الجاذبية لكنها فشلت فى تفسير القوة الكهرومغناطيسية.

وفى عام ١٩١٩ كتب عالم الرياضيات تيودور كالوزا إلى أيذشتاين موضحًا الطريقة التي يمكن للجاذبية والكهرباء المغناطيسية أن تتحدا فى قوة **واحدة**. وكان أيذشتاين قد صاغ نظريته فى إطار مكان – زمان ذى أربعة أبعاد، وكان ذلك مقبول تمامًا حيث أننا نعرف ثلاثة أبعاد للمكان وبعد واحد للزمن. وكان ما يقدمه كالوزا جدير بالاهتمام البالغ حيث قدّم **بعدًا إضافياً للمكان** وصاغ نظرية أيذشتاين فى إطار أربعة أبعاد للمكان وخمسة أبعاد للمكان – الزمان وأثبت عندئذ أن نظرية الأبعاد الخمسة مماثلة لنظرية أيذشتاين عن النسبية العامة فى الأبعاد الأربعة يضاف إليها القوة الكهرومغناطيسية. أو بمعنى آخر فإن إدخال بُعد إضافى للمكان فى الكون يماثل إدخال القوة الكهرومغناطيسية. ويتضمن ذلك أن الجاذبية فى الأبعاد الخمسة تساوى الجاذبية مضافًا إليها الكهرباء المغناطيسية فى الأبعاد الأربعة.

ورغم أن نظرية كالوزا كانت مقبولة من وجهة النظر الرياضية، كانت هناك مشكلة خطيرة تتعلق بها، حيث فشل كالوزا فى تفسير سبب عدم ملاحظة البعد الخامس فى الواقع الفعلى. وإذا كان هذا البعد الإضافى موجوداً فعلاً، فأين يختفى؟ يمكننا أن

نجيب عن هذا السؤال بمساعدة مثال مشابه. دعنا نفترض جزءاً من أنبوب مثل الخرطوم ونرى كيف يمكننا متابعة عملية تركيبه؟

ليس الأنبوب الخرطومى سوى أسطوانة مجوفة، وأبسط طريقة لصناعته هى الطريقة التالية. نبدأ بخط مستقيم، كما هو موضح فى الشكل ٦ - ١ أ، ثم نُوصل دائرة صغيرة بكل نقطة على هذا الخط، كما هو موضح فى الشكل ٦ -أب. وستكون النتيجة عبارة عن أنبوب، أو أنبوب مثل الخرطوم، يتحدد مقطعه بأنصاف أقطار الدوائر التى تم وضعها على الخط.




شكل ٦ - ١ : أنبوب مثل الخرطوم يمكن تركيبه بوضع دائرة صغيرة على كل نقطة فوق الخط المستقيم.

فكّر فيما يحدث كلما تقدمنا بعيداً عن هذا الأنبوب، فكلما زادت المسافة بيننا وبين الأنبوب، يبدو مقطعه أصغر بالنسبة لطوله، وفى آخر الأمر يصبح نصف قطره الظاهرى صغيراً جدا لدرجة أن أعيننا لا تستطيع أن تتبين ما إذا كان له مقطع أم لا، وعندما نبتعد كثيراً سيبدو الخرطوم كما لو كان خطًا.

ونحن نعرف فى الواقع أن هذا الخرطوم عبارة عن أسطوانة، أى يمكن النظر إليه كسطح ذى بعدين، لكن الخط المستقيم ذو بعد واحد، فما الذى حدث عندما ابتعدنا عن الأنبوب؟ إذا كان علينا أن نواصل ملاحظاتنا للأنبوب، يمكننا التفكير فى أنه ببساطة مجرد خط لأن البعد الثانى المصاحب له بالغ الصغر إلى درجة يصعب معها ملاحظته. ويمكننا أن نرى بعداً واحداً فقط لأن البعد الثانى منطو فى دائرة بالغة الصغر، لذلك نخرج من ملاحظاتنا بأن الأنبوب الخرطومى خط أكثر من كونه أسطوانة.

والفكرة وراء ذلك أن المكان - الزمان لكوننا يتشابه من الناحية النوعية مع الأنبوب الخرطومى، فثلاثة من أبعاد المكان كبيرة ويمكن ملاحظتها. وليس هناك ما يمنع من إضافة دائرة صغيرة إلى كل نقطة فى المكان -- الزمان، بنفس الطريقة التى اتبعناها فى وضع دائرة على كل نقطة كما هو موضح فى الشكل ٦ - ١ ب. وعندما نفعل ذلك سنكون قد أدخلنا فعليا بعداً خامسًا فى الكون، ونحن لا "نرى" هذا البعد الخامس فى حياتنا اليومية، بمعنى أننا لسنا منتبهين أصلاً لوجوده، وهذا يعود إلى نفس أسباب عدم استطاعتنا رؤية البعد الإضافى للأنبوب الخرطومى عندما نكون على بعد كبير منه. ونصف قطر البعد الإضافى بالغ الصغر بحيث لا يمكن ملاحظته مباشرة بواسطة أجهزة المختبر، لكن تأثيراته تظهر فى الأبعاد "الكبيرة" على هيئة قوة كهرومغناطيسية.

ورغم كشف عالم الرياضيات السويدى أوسكار كلين فى ١٩٢٦ لأفكار كالوزا الحدسية هذه، فإن هذه الأفكار تم تجاهلها على نطاق واسع حتى فترة قريبة جدا،

ثم أصبحت شائعة إلى حد كبير. وأحد أسباب انتشارها ينبع من السؤال التالي: إذا كان من الممكن فهم القوة الكهرومغناطيسية بالاستعانة بالبعد الخامس، فهل يمكن أن تكون القوتان الشديدة والضعيفة مرتبطتين أيضًا بالبعد المكاني الإضافي؟

وفي الوقت الراهن ليست الإجابة عن هذا السؤال معروفة، رغم الإحساس العام بأن هذه الفكرة تَعِدُ بالكثير. ولقد ناقشنا فعلاً بعض الأدلة التي تشير إلى أن القوى الثلاث قد يكون لها أصل واحد، لكننا لم نحدد بعد طبيعة الصلة بينها. وإذا كان من الممكن وصفها بالاستعانة بالأبعاد الإضافية، قد تتيح لنا هذه الأبعاد الحصول على العلاقة المفتقدة التي نبحث عنها.

ويتبلور التصور في هذه الحالة في أن الكون يحتوي على أبعاد إضافية مختفية، وأن ذلك يحدد صفات القوى الشديدة والضعيفة والكهرومغناطيسية. وبشكل عام، فإن الأبعاد الإضافية يُشار إليها بصفتها **المكان الداخلي** الذي يحتوي على كل الأبعاد الصغيرة التي لا يمكننا ملاحظتها مباشرة. ويُشار إلى المكان ذي الأبعاد الثلاثة الذي نلاحظه عادة بأنه **المكان الخارجي**. ويتم تحديد بنية المكان الخارجي بواسطة قوة الجاذبية، ويرتبط شكل المكان الداخلي بالقوى الثلاث الأخرى.

وهنا يواجهنا سؤالان مهمان يجب دراستهما في هذا التصور. الأول، ما البنية الدقيقة للمكان الداخلي؟ والثاني، إذا كان هناك أبعاد إضافية موجودة في الكون، لماذا تمددت ثلاثة منها فقط إلى أحجام كونية؟

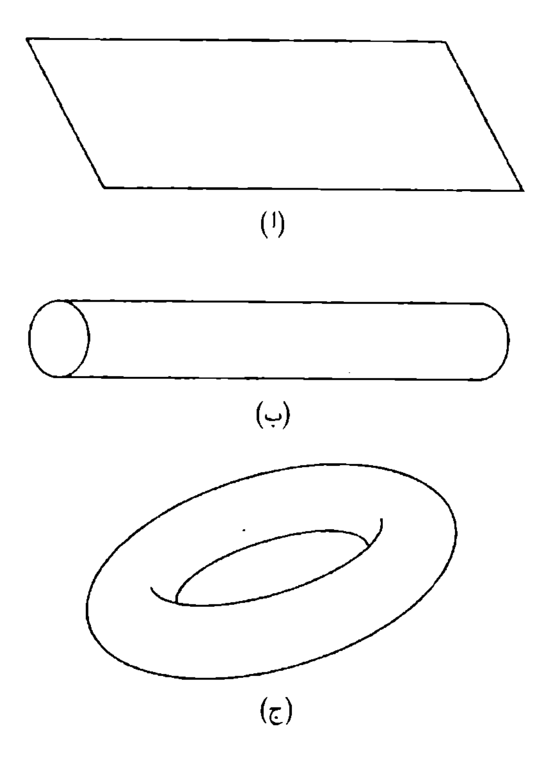
وأحد سمات المكان الداخلي أنه يجب أن يكون بالغ الصغر. ولقد سبر علماء التجارب بنية المكان حتى مقاييس صغيرة أصغر مرات كثيرة من حجم البروتون. وإذا تمدد المكان الداخلي إلى مقاييس أكثر ارتفاعًا من هذه المقاييس، يمكن في هذه الحالة رصده. ولم يتم العثور على أية أدلة تبرهن على وجود هذه البنية

الداخلية، من هنا فإننا نستنتج أن المكان الداخلى أكثر صغراً من أصغر الجسيمات الأولية.

لدينا أيضًا جزء ثان من المعلومات حول طبيعة المكان الداخلى، تتمثل فى أنه ليس له أى حواف. لأنه لو كان له حواف لسقطت منه فى آخر الأمر الجسيمات التى تتحرك فيه تمامًا كما يحدث لبلى صغير يسقط من فوق سطح المائدة، وينتج من ذلك أنه لابد أن يكون المكان الداخلى ملتف بطريقة أو بأخرى، أى لابد أنه مدمج ومحدود.

وفى النهاية، لقد عرفنا من مناقشتنا فى الفصل الرابع أن انحناء الفضاء يرتبط بقوة الجاذبية. وتعمل نظرية أيذشتاين بشكل جيد جدا على المقاييس الكبيرة، لذلك لا نحتاج إلى تعديلها ، وهذا الأمر يضع مزيداً من القيود على بنية المكان الداخلى، لأنه إذا كان منحنيًا فيجب إدخال التأثيرات الإضافية للجاذبية فى الكون، مما يتطلب تعديلاً فى نظرية أيذشتاين إلى درجة كبيرة. ويتطلب الأمر أن تكون الجاذبية غير مرتبطة بالمكان الداخلى. وحيث أن غياب الجاذبية ينتمى إلى الفضاء المسطح، لذلك يجب أن يكون المكان الداخلى مسطحًا أيضًا.

كيف يمكننا التأكد من أن المكان الداخلى ليس منطويًا على نفسه فقط لكنه أيضًا مكان مستوٍ؟ ولن يساعدنا فى هذا الموقف نموذج البعدين. وقطعة الورق مثال للسطح المستوى، مثل صفحة البولى إيثالين. ولسوء الحظ فإن كلا السطحين لهما حواف ولن يكونان مناسبين عندما يكونان مستويين. وما نحتاج إليه هو أن نمسك بصفحة البولى إيثالين ونعدل فيها بطريقة تتيح لنا إلغاء الحواف، بحيث نضمن عدم سقوط الجسيمات التى تتدحرج عليها من فوقها.




شكل ٦ -٢ : (أ) يوضح الشكل التسطح المجلى لكعكة. (ب) يمكن تكوين أسطوانة بأخذ ورقة تغليف من البولى إيثالين وجمع طرفين فى جهتين مختلفتين معًا. (ج) نحصل حينئذ على كعكة بطى الأسطوانة بطريقة تجمع بين طرفيها.

ويوضح الشكل ٦ – ٢ أ ورقة التغليف البلاستيكية عندما تكون غير مطوية، وكما نرى فإن لها أربعة حواف، ويمكننا إلغاء حافتين بوصل جانبين فى اتجاهين مختلفين معًا، وهو ما يمثل طى الورقة وجعلها أسطوانية الشكل، كما يوضح الشكل ٦ – ٢ ب. عندئذ لا يتبقى سوى حافتين، ويصاحبهما دائرتين عند نهايتى الأسطوانة. ويمكن أيضًا وصل النهايتين معًا كما يوضح الشكل ٦ – ٢ ج وتشبه النتيجة النهائية الكعكة.

ولن تبدو هذه الكعكة مسطحة، لكنها فى الحقيقة مسطحة. لقد بدأنا بسطح مستو ، وكل ما فعلناه أننا جمعنا بين الأحرف الأربعة، لم نضف شيئًا ولم نحذف شيئًا من الورقة المرنة التى بدأنا بها فى الشكل ٦ - ٢ أ. وهذا أمر مهم لأنه حتى إدخال أية مادة قد يؤدى إلى انحناء الورقة، كما رأينا فى الفصل الرابع . وحيث أن السطح المرن كان مستويًا فى البداية، فلابد أن يظل مسطحًا بعد ذلك.

ويعتبر سطح الكعكة مثالاً جيدًا للشىء المحدود، المكان المحدود. إن له بعدين، حيث أنه قد تم تكوينه فى الأصل من ورقة ذات بعدين. وقد يكون للمكان الداخلى للكون (إذا كان موجودًا) أكثر من بعدين، وفعلاً تتنبأ بعض النظريات الأكثر انتشارًا بأنه لا بد أن يكون للمكان الداخلى ستة أبعاد، مما يجعل للكون عشرة أبعاد. ومع ذلك، يمكننا كنوع من التقريب أن ننظر إلى المكان الداخلى كما لو كان له الأبعاد الستة للكعكة.

وفى هذا التصور تظهر القوى الكهرومغناطيسية والشديدة والضعيفة لأن المكان الداخلى قد تم وضعه فى كل نقطة من نقاط المكان - الزمان ذى الأربعة أبعاد. وتحدد البنية الدقيقة للمكان الداخلى وحجمه طبيعة القوى التى تؤثر على الجسيمات. وتظهر القوة الرابعة، الجاذبية، لأن الأبعاد الثلاثة الكبيرة للمكان منحنية.

وهذه الفكرة جذابة لأنها تمدنا بأصل مشترك لكل قوى الطبيعة. وتظهر هذه القوى لأن أبعاد المكان التوت والتفت بطريقة ملائمة. ويشير ذلك إلى أن الأصل المشترك بين قوى الطبيعة قد يكون ببساطة الشكل الكلى للكون ذى العدد الأعلى من الأبعاد.

ويُشار إلى هذه النظريات عامة على أنها نظريات كالوزا كلاين. ولم يستطع أحد فى وقتنا الراهن أن يصيغ نظرية كالوزا كلاين صياغة كاملة ناجحة تتنبأ بشكل صحيح بالجسيمات الموجودة فى الكون وكيفية تفاعلها، وقد لا يستطيع أحد أن يفعل ذلك أبدًا. وتبدو هذه النظريات خطوة على الطريق الصحيح، ولو من وجهة النظر الفلسفية، فهى تتيح إطارًا لوصف كل قوى الطبيعة على أساس هندسة الكون.

وإذا كانت هذه الرابطة موجودة بين القوى، فمن المعقول جدا أن يكون لهذه القوى أصل مشترك. ويضاف إلى ذلك، أنه قد يكون من المحتمل توحيد هذه القوى على هيئة "قوة فائقة" واحدة. ولقد رأينا أنه لا يوجد سوى قوتين مؤثرتين فوق $١٠^{٢٧}$ درجات، وهما القوة الموحدة الكبرى والجاذبية. ومع الارتفاع المطرد لدرجة الحرارة تم توحيد القوى الكهرومغناطيسية والضعيفة والشديدة. ويدور التفكير حول أهمية توحيد القوة الموحدة الكبرى والجاذبية أيضًا عند حد ما من الارتفاع الكافى لدرجة الحرارة.

ويضاف إلى ذلك، أنه إذا كانت القوى الأربع مجرد تجل مختلف لنفس القوة الفائقة، فهل يمكننا وصف كل جسيمات الطبيعة على أساس جسم واحد فى هذه الحالة؟ وبقول آخر هل الكواركات واللبتونات مجرد تجل مختلف "لجسيم فائق" أكثر أصالة؟

ويمكن للنظرية التى تصف كوننا على هذا الأساس أن تتضمن واقعيًا كل الفيزياء، وبشكل ما يمكنها أن تصبح "نظرية كل شيء"، ويُشار إليها باختصار بالأحرف TOE .

كيف يمكننا بحث طبيعة نظرية كل شيء التى تصف الكون؟ علينا فى البداية أن نحدد النقطة التى تبدأ عندها القوة الموحدة الكبرى والجاذبية فى السلوك بطريقة متماثلة. فإذا كانت فكرة الأبعاد الأعلى صحيحة، فإن خواص القوى ترتبط جزئيا بأحجام الأبعاد. وبشكل خاص فإن طبيعة القوة الموحدة الكبرى لابد أنها ترتبط عند مستوى ما بحجم المكان الداخلى، الذى قد يبلغ صغره $١٠^{-٣٥}$ أمتار. ويمتد المكان الخارجى، الذى يمثل الجزء الكونى المتأثر بقوة الجاذبية، إلى عشرة مليارات سنة ضوئية على الأقل.

وليس من المثير للدهشة فى هذه الحالة وجود مثل هذا الاختلاف بين القوى. وعلى أية حال، فمن المحتمل أن المكان الخارجى كان بالغ الصغر خلال الدقائق الأولى المبكرة فى تاريخ الكون. ومن الناحية الأساسية، يمكننا أن نضع فى اعتبارنا العودة إلى وقت كان فيه حجم المكان الخارجى يقترب من حجم المكان الداخلى . وفى هذا

الوقت كانت الأبعاد المكانية فى الكون متماثلة مع بعضها البعض، وهناك فقط يمكننا أن نتوقع ظهور أنواع من التماثل بين القوة الموحدة الكبرى والجاذبية.

وإذا أخذنا فى الاعتبار الأزمنة المبكرة ثم الأكثر منها تبكيراً فإن هذا يناظره ارتفاع فى درجة الحرارة. ومن المحتمل أن كلاً من المكان الداخلى والمكان الخارجى كان لهما نفس الحجم عندما كانت درجة الحرارة تقترب من ١٠ ^٣٢^ درجات، ويناظر ذلك نقطة اندماج القوة الموحدة الكبرى والجاذبية فى القوة الفائقة.

ولابد أن التصادم بين الجسيمات كان بالغ الشدة عند درجة الحرارة هذه، ولابد أن الجسيمات قد استطاعت الاقتراب من بعضها البعض إلى درجة جعلت البنية الداخلية أمراً مهمًّا . ويجب أن نفسر هذه البنية عندما نناقش التوحيد بين الجاذبية والقوة الموحدة الكبرى.

ويظهر تعقيد مماثل عند رسم خريطة، فإذا كنت تنوى رسم خريطة للعالم كله، عليك أن تهتم أولاً بخطوط سواحل القارات، وربما أيضًا مواقع أضخم الجبال والمدن الرئيسية. وقد لا تكون الجبال الصغيرة نسبيًّا ذات ضرورة بالنسبة إليك. ومن جانب آخر إذا أردت الحصول على خريطة لمنطقة تحيط بجبل محدد، فسوف يمثل هذا الجبل نقلة صعبة، حيث أن توقيع طبيعة الأرض على الخريطة سيصبح بالتدريج أكثر تعقيداً كلما توسعنا فى القياس. وبالمثل فإن البنية الداخلية تصبح أكثر أهمية كلما اقتربت الجسيمات من بعضها أكثر فأكثر.

ولسوء الحظ أنه لا يمكننا أن نرى ما فى "داخل" الجسيمات الأولية، لذلك علينا أن نجرى تخمينات ملهمة عن طبيعة ما قد يكون موجوداً فى الداخل.

ويتبنى كثير من الباحثين وجهة النظر التى تقول أن الكواركات والجسيمات التقديرية التى تتوسط بين القوى قد لا تسلك فى نهاية الأمر مثل الكرات بالغة الصغر. وبدلاً من ذلك فإن وجهة النظر المفضلة هى النظر إلى الجسيمات كأجسام ممتدة تشبه قطع من الأوتار.

ويُطلق على النظرية التى تصف الجسيمات على أساس أنها أوتار **نظرية الأوتار الفائقة**. وتبعًا لهذه النظرية فإن الخواص الشبيهة بالأوتار بالنسبة للجسيمات لا تصبح واضحة قبل الوصول إلى ١٠ ^٣٢^ درجات.

وللأوتار الفائقة خواص مرنة ويمكن تصورها كشرائط مرنة بالغة الصغر، يصاحبها شد يجعلها مشدودة كلما مططناها ويزداد الشد الواقع عليها، ويؤدى هذا الشد إلى إرغام الشرائط المرنة على العودة إلى شكلها الأصلى بمجرد إطلاق حرية حركتها. ونفس الشيء يحدث للأوتار الفائقة، حيث يزداد الشد عليها كلما انخفضت درجة الحرارة، ويكتسب الشد أهمية تحت ١٠ ^٣٢^ درجات، ويؤدى إلى تقلص الوتر بسرعة حتى يصبح نقطة، وهو ما يفسر سبب التشابه بين الجسيمات الأولية التى نرصدها فى الحاضر وبين الأجسام التى تشبه **النقطة**.

وتكون الأوتار إما مفتوحة أو مغلقة. ويمكن تصور الوتر المفتوح كطوق تم قطْعه، بينما يشبه الوتر المغلق طوقًا ظل سليمًا. وتقدم الأوتار جانبًا جديدًا لتصورنا، حيث تتضمن طبيعتها المرنة قدرتها على الاهتزاز بنفس طريقة أوتار الجيتار.

ما المتضمن فى هذه النتائج؟ يكون للموجة ذات طول الموجة الأقصر طاقة **أعلى**، والطاقة تناظر الكتلة، لذلك يمكننا أن نوحد بين طاقة الموجة وكتلتها، ويمكننا أيضًا توحيد الكتلة مع الجسيمات، لذلك يمكن تفسير الذبذبات المختلفة للوتر على أساس الجسيمات المختلفة.

والسمة الجذابة فى هذا التصور أنه يتيح لنا أن ننظر إلى **كل** الجسيمات على أساس نفس الجسم الأصلى، ألا وهو الوتر الفائق. ورغم وجود الكثير من الأنواع المختلفة للجسيمات فى الكون، تقول لنا نظرية الوتر الفائق أن كل هذه الجسيمات ترتبط ببعضها البعض بطريقة أصيلة تمامًا. ولا تتجاوز الجسيمات من الناحية الأساسية كونها مجرد أوتار فائقة مفردة. وقد تختلف صفات الوتر الفائق، مثل شده وطاقة تذبذبه، وتُظهر هذه الاختلافات نفسها على هيئة جسيمات ذات خواص مختلفة.

وهناك سمة فاتنة أخرى لنظرية الوتر الفائق تتمثل فى إمكانية تفسير تفاعلات الجسيم بشكل طبيعى عن طريق قطَع من وتر تنقسم كل على حدة وتتجمع معًا . ومثال ذلك،

تصور جسيم يتحلل إلي جسيمين أكثر خفة، فيمكن فى هذه الحالة النظر إليه كما لو كان قطعة من وتر انقسمت إلي قطعتين أصغر. ويظهر التفاعل العكسى، أى عند اتحاد جسيمين، عندما تتقابل قطعتا وتر منفصلتان "وترتبطان مثل عقدة".

وتصور الجسيمات كأوتار له جاذبية شديدة، ومع ذلك لابد أن نؤكد أن مفهوم الأوتار الفائقة لا يتعدى كونه مجرد نظرية فى هذه المرحلة. ورغم أنها فكرة تفرضها النظرية لا توجد أدلة علي هيئة ملاحظات مباشرة تشير إلى أن هذه الفكرة صحيحة بالضرورة. وأحد المشاكل الرئيسية لنظرية الأوتار الفائقة أنها تعطى القليل من التنبؤات التى يمكن اختبار صحتها. ولا نعرف حتى الآن ما إذا كانت هذه النظرية ستؤدى إلى وصف صحيح للكون أم لا.

وأحد التنبؤات التى تعطيها نظرية الأوتار الفائقة أن الكون له عشرة أبعاد. وحيث أن لدينا بعد للزمن، فيتبقى مكان ذو تسعة أبعاد، ثلاثة منها هى التي تصنع العالم الذى اعتدنا عليه، لذلك فلابد أن الستة أبعاد الأخرى تشكل المكان الداخلى، وأنه لابد أن هذا المكان منطو بالطريقة التى أوضحناها فى الشكل ٦ - ٢، وتبعًا لهذه النظرية فإن حجم هذا المكان الداخلى هو نفسه على وجه التقريب حجم الوتر الفائق نفسه، أى ١٠ $^{-٣٥}$ أمتار.

فكيف يؤثر المكان الداخلى على تذبذب الأوتار الفائقة؟ للإجابة عن هذا السؤال من المفيد أن نتصور وترًا حرًا ، كل من طرفيه مثبت بحيث يتصرف كما لو كان وتر جيتار. وعند النقر على وتر الجيتار تنتقل الموجات عبره. ولأن طرفى وتر الجيتار مثبتان لا تنتقل سوى موجات لها أطوال موجة خاصة، التى تتحدد بطول الوتر. وتتذبذب الأوتار الفائقة بطريقة مشابهة لوتر الجيتار لأنها تكون مقيدة بالمكان الداخلى.

وبشكل عام فإن أطوار موجات الذبذبات المتاحة على الوتر الفائق يتم تحديدها ببنية وحجم المكان الداخلى.

ويتيح لنا التصور الذى تقدمه نظرية الأوتار الفائقة فهمًا أفضل لكيفية تحديد بنية المكان الداخلى للقوى المؤثرة على الجسيمات. ونحن نعرف أن القوى يتم نقلها بواسطة تبادل الجسيمات التقديرية، وأن خواص هذه القوى تتحدد بواسطة خواص جسيمات التبادل.

وتتحدد صفات جسيمات التبادل هذه بدورها بواسطة الذبذات على الوتر الفائق، وهذه الذبذبات تتحدد هى نفسها بواسطة المكان الداخلى. ومن ثم فإن بنية المكان الداخلى تلعب دورًا مهمًا فى تحديد طبيعة القوى خلال رصدنا لها.

ورغم أن فكرة المكان الداخلى توضح لنا كيفية وجود أبعاد صغيرة فى الأساس، فإنها لا توضح سبب أن الأبعاد الثلاثة بشكل خاص هى التى نمت حتى وصلت إلى الأحجام الكونية. فهل هذا الرقم رقم خاص أم أنه مجرد صدفة؟ وهل هناك قاعدة فيزيائية إضافية ذات تأثير تمنع أعداد أبعاد أخرى من أن تصبح ضخمة؟ الإجابة عن هذين السؤالين غير معروفة على وجه كامل، لكن تم تقديم بعض الاقتراحات. وسوف نعود إلى هذه الموضوعات فى الفصل العاشر عند مناقشة المقصود بالكون المتضخم.

وفى ختام هذا الفصل دعنا نسترجع ما قلناه فى بداية الفصل الخامس . لقد أوضحنا أن مناقشة موضوع الجسيمات الأولية يشبه العثور على طريق فى "حديقة حيوانات" هائلة من الجسيمات المختلفة. وبعد رحلتنا فى عالم الجسيمات التقديرية والأبعاد الأعلى، توصلنا إلى أنه من المحتمل فعلاً وجود حيوان واحد فى هذه الحديقة، ألا وهو هذا النموذج المثير للإعجاب البالغ والمعروف بالوتر الفائق.


www.
al-maktabeh
.com
مكتبة
المهتدين

# الفصل السابع

## الانفجار العظيم

أصبحنا الآن فى موقف يتيح لنا الحديث عن المراحل الأكثر تبكيراً فى تاريخ الكون الذى ننتمى إليه. ولقد ظهر خلال العقود القليلة الماضية سيناريو يوضح أن الكون ظهر إلى الوجود على هيئة كرة نارية بالغة السخونة تتمدد بسرعة. ويُشار إلى هذا التصور **بأنه نموذج الانفجار العظيم**. ويوافق أغلب علماء الكونيات على أن هذا النموذج يمثل وصفاً دقيقاً للكون الأكثر تبكيراً، على الأقل بالنسبة للأزمنة بعد نحو ثانية واحدة.

وفى هذا الفصل سوف نتتبع تاريخ الكون من الانفجار العظيم حتى وقتنا الراهن. فدعنا نبدأ بمناقشة بعض القواعد المهمة التى تحكمت فى سلوك الكون خلال الانفجار العظيم.

ترتبط درجة حرارة الكون فى زمن ما مباشرة بحجم الكون وعمره. ولقد ثبت أنه من الملائم فى أحوال كثيرة قياس عمر الكون مباشرة على أساس درجة حرارته، من هنا فإن درجة الحرارة الأعلى تناظر زمناً أكثر قدماً. ومثال لذلك، عندما كان عمر الكون لا يتجاوز ثانية واحدة كانت درجة حرارته نحو عشرة مليارات درجة. وسوف يكون من المفيد تذكر درجة الحرارة هذه لأغراض المقارنة فى نقاشنا الوشيك.

كان الكون بالغ القدم أكثر سخونة بكثير عن عشرة مليارات درجة. ولابد أن المادة على هيئة ذرات لم تكن قد ظهرت بعد.

ولـم تظهر الذرات، فى الـواقع، حتى وصـل عمـر الكـون إلـى نحو ثلاثـمائة ألف سنة.

ويضاف إلى ذلك أن النواة لم تصبح مستقرة حتى انقضت بضع دقائق. وعندما كـان الكون أصـغر من ذلك، كـان يتكون من خليط شـديد الكثـافـة من الجسـيمـات ومضادات الجسيمات، ولابد أنه كان هناك أنواع كثيرة من الجسيمات المختلفة.

وقد يكـون مفيداً إعطاء مثال تشبيهى للكون المتمدد صغير العمر. افترض أنه كـان علينا رفع درجة حـرارة فرن فى ليلة شتوية باردة حتى تتجاوز درجة حـرارته مائة درجة. فإذا كان علينا أن نضع بعض البخار فى هذا الفرن، فسوف يظل متبخراً طالما حـافظـنا على درجة الحرارة هذه. تصـور مـا يحدث عـندما نعطل عمـل هذا الفرن ونحمله إلى خارج المنزل حيث درجة الحرارة تحت درجة التجمد. من الواضح أن الفـرن سيبرد كلما فـقد حرارته لتصـل إلى درجة الحـرارة خارج المنزل. وكلما انخفضـت درجة حرارة الفرن سوف يتكثف البخار من جديد فى آخر الأمر ليصير مـاء، وفى النهـاية عندمـا تصبح درجة الحـرارة منخفضـة بمقدار كاف يتـجمـد الماء ويصير جليداً.

وقد يحدث الانتـقال المتتالى من البخار إلى الماء ثم من الماء إلى الجليد بسرعة إذا انخفـضت درجة الحـرارة بالمـقدار اللازم. والوقـت اللازم لاستكمـال كل عمليـة تحول سيكون أقل كثيراً من الوقت اللازم للفرن لكى يبرد. ويظل البخار متبخراً بعض الوقت حتى يتم الوصـول إلى درجة الحرارة الحرجة وهى المائة درجة، وعندئذ يتكثف بسرعة ويتحول إلى مـاء. ويظل الماء على هيئة سائل حتى تنخفض درجة الحرارة إلى نقطة التـجمد، وعندئذ فـقط يتحـول إلى جليد. ويكون الوقت المطلوب لاستكمـال هذا التحول الثانى أقل بكثـير من الوقت المطـلوب لكى تنخفـض درجة حرارة الفرن إلى مائة درجة.

وباختصار فإن البخار يتكثف إلى ماء ويتبع هذا التغير فترة استقرار نسبى حتى يتجمد الماء على هيئة جليد. وهذا يعنى إمكانيـة تقسيم تاريخ الماء داخل الفرن الذى

يبرد بالتدريج إلى ثلاثة أحداث متميزة تناظر فترة وجود الماء على هيئة غازية ثم سائلة ثم جامدة.

ويمكن أيضًا مناقشة تطور الكون المبكر على أساس عهود منفصلة، تتعين بالخواص المحددة بظهور المادة فى مجرى الزمن. ولقد بردت المادة فى الكون المتمدد بنفس الطريقة تقريبًا التى برد بها البخار داخل الفرن، فكلما تمدد الكون كانت درجة حرارته تنخفض وتصل أخيرًا إلى قيمة حرجة، مما أدى إلى تغير خواص المادة بشكل جوهرى. ولقد حدث التغير بسرعة كبيرة وكان الأثر الإجمالى أن المادة تسلك بشكل مختلف بعد ذلك، تمامًا كما يسلك الجليد والماء بشكل مختلف.

ولقد وقعت أحداث جوهرية خلال الانفجار العظيم وجعلت هذه العهود التاريخية منفصلة عن بعضها البعض. وسوف نناقش هذه الأحداث بأن نقسم الزمن إلى فترات حسب تسلسلها.

قد يكون أول الأحداث المهمة فى تاريخ الكون هو ظهوره، وكقاعدة سوف يتم استخدام هذه البداية للإشارة إلى الزمن صفر. ومن ناحية أخرى، فإنه لا يمكننا، فى هذه المرحلة من المناقشة، أن نعرف كيف ظهر الكون إلى الوجود. والسبب أنه من المحتمل أن التقلبات الكمية المصاحبة لقوة الجاذبية كانت عنصرًا مهمًّا. لكننا لم نعرف بعد كيف ندمج هذه التأثيرات فى تصورنا عن بداية الكون. ولا تصلح العمليات الفيزيائية والنظريات التى قدمناها فى الفصول السابقة عندما نحاول استخدامها. وتعتبر نظرياتنا، على الأقل فى شكلها الراهن، محدودة تمامًا.

وينتج عن ذلك أن لدينا حدودًا فى الرجوع فى الزمن إلى الخلف باستخدام التصور الفيزيائى الذى اكتسبناه خلال مناقشتنا. والحد الذى نقف عنده هو أول $10^{-43}$ ثوانٍ من تاريخ الكون. ولا يمكننا أن نناقش ما يكون قد حدث قبل أن يصل عمر الكون إلى هذا الحد. وهذا المقياس للزمن معروف بأنه **زمن بلانك** تبعًا لعالم الفيزياء الكمية ماكس بلانك.

وفى الفصل الثانى عشر سوف نستكشف إلى أى حد يمكن التوسع فى نظرياتنا لكى تتضمن تأثيرات الجاذبية الكمية. وسوف يقودنا ذلك إلى فهم أفضل لأصل الكون. ومع ذلك، فإننا من أجل المناقشة الحالية، سوف نتتبع تاريخ الكون ابتداء من ١٠ $^{-٤٣}$ ثوانٍ.

ويبدأ عصر الأوتار الفائقة عندما كان عمر الكون كما أشرنا إليه، فالضوء يمكنه الانتقال خلال زمن بلانك مسافة ١٠ $^{-٣٥}$ أمتار فقط، ويُعرف هذا المقياس **بحد بلانك**.

وحيث أنه لا يوجد أى شىء يمكنه الانتقال أسرع من الضوء، فإن حد بلانك يمثل حجم الكون الذى يمكن رصده عند هذا الزمن. وبناء على ما تقدم تتم الإشارة أحياناً إلى عصر الأوتار الفائقة بأنه عصر بلانك.

وفى بداية عصر الأوتار الفائقة كانت درجة حرارة الكون ١٠ $^{٣٢}$ درجات، وهى درجة الحرارة الحرجة التى يُظن أن القوى الأربع فى الطبيعة قد أصبحت عندها متحدة على هيئة قوة فائقة. وكانت الطبيعة الوترية للمادة قد أصبحت واضحة عند هذه الطاقات. وكان هناك قوة واحدة مؤثرة فى زمن بلانك، وكانت فعّالة بين الأوتار الفائقة. وتتنبأ نظرية الأوتار الفائقة بأنه لابد أن الكون كان له على الأقل تسعة أبعاد للمكان، وكانت لهذه الأبعاد أحجام قابلة للقياس فى هذه المرحلة.

واقترب عصر الأوتار الفائقة من الأفول عندما انقسمت القوة الفائقة إلى قوة الجاذبية وقوة التوحيد الكبرى. وحدد هذا الحادث بدء عصر التوحيد الأكبر، وبدأت قوة الجاذبية تعمل كقوة مستقلة. ومن ناحية أخرى تمددت ثلاثة أبعاد مكانية فقط. وليس سبب ما حدث مفهوماً بشكل كاف ، ومع ذلك سوف نناقش تفسيراً محتملاً لهذا الأمر فى الفصل العاشر .

ويزداد الشد فى الأوتار الفائقة كلما هبطت درجة الحرارة، ويؤدى انخفاض درجة الحرارة إلى تقلص الأوتار، التى تشبه حينئذ الأجسام الشبيهة بالنقطة والتى نعرّفها حاليًا بأنها جسيمات أولية وجسيمات مضادة. وواصلت هذه الجسيمات التصادم

ببعضها البعض نظراً لضيق الحيز الذى تتحرك فيه. ويمكن النظر إلى الكون فى هذا الوقت على أنه حساء ساخن كثيف من الجسيمات والجسيمات المضادة.

ورغم أن درجة حرارة هذا "الحساء" كانت تهبط باستمرار، كانت ما تزال بالارتفاع الكافى لأن تستطيع الكواركات واللبتونات تبادل جسيمات إكس فيما بينها، وهى الجسيمات التى كانت مسئولة عن نقل تأثيرات قوة التوحيد الكبرى. وأدى ذلك إلى انحلال الكواركات إلى لبتونات، والعكس بالعكس. وكان يتعذر تماماً تمييز الكواركات عن اللبتونات فى هذه المرحلة من تاريخ الكون.

ومع استمرار تمدد الكون ظلت درجة الحرارة فى هبوط دائم، وبمجرد وصولها إلى قيمة حرجة، أصبح تبادل جسيمات إكس بين الكواركات واللبتونات مستبعداً إلى درجة كبيرة، رغم احتمال استمراره على هيئة تصادم عنيف استثنائى.

ولم يعد فى قدرة الكواركات واللبتونات التأثير على بعضها البعض بشكل ملحوظ بواسطة قوة التوحيد الكبرى. وتبعاً لذلك وجد كل جسيم أنه من الصعب تماماً أن يتحلل ويتحول إلى جسيم آخر. وكفّت قوة التوحيد الكبرى تماماً عن فعاليتها، ويحدد ذلك نهاية عصر التوحيد الأكبر. وقد تم الوصول إلى هذه المرحلة عندما كان عمر الكون لا يتجاوز $10^{-35}$ ثوانٍ. وكانت درجة الحرارة عند ذلك الزمن $10^{27}$ درجات. وانقسمت قوة التوحيد الكبرى إلى قوة شديدة وقوة كهروضعيفة، وكان ذلك نذيراً ببداية عصر القوة الكهروضعيفة.

واستمر عصر القوة الكهروضعيفة نحو $10^{-10}$ ثوانٍ. وفى بداية ذلك العصر كانت درجة الحرارة مازالت بالغة الارتفاع حتى أن الجليونات كانت عاجزة عن ربط الكواركات ببعضها البعض. وسلكت الكواركات كما لو كانت جسيمات حرة خلال هذا العصر. وفى البداية تصرفت جسيمات دبليو وجسيمات زد بطريقة مماثلة للفوتونات منعدمة الكتلة، لأن طاقتها الحركية تخطت أى طاقة مصاحبة لكتلتها. وبشكل جوهرى لم يكن مستطاعاً تمييز هذه الجسيمات عن الفوتونات، لذلك ظلت القوة الكهرومغناطيسية والقوة الضعيفة متحدتين.

ومع هبوط درجة الحرارة، كانت التصادمات المتوسطة بين الجسيمات أقل طاقة. وأصبحت لكتلتى الجسيمين دبليو W وزد z قيمة ذات شأن بمجرد انخفاض درجة الحرارة إلى حد كاف. ولكى يحدث ذلك كان أهم وضع فيزيائى لحدوثه هو انخفاض درجة حرارة الكون تحت القيمة الحرجة. عندئذ بدأت القوة الضعيفة والقوة الكهرومغناطيسية فى التأثير على الجسيمات بطرق مختلفة. وحدث انتقال عندما وصل عمر الكون إلى ١٠ <sup>− ١٠</sup> ثوانٍ، فقد انقسمت القوة الكهروضعيفة إلى القوة الضعيفة والقوة الكهرومغناطيسية، وكانت درجة الحرارة عندئذ ١٠ <sup>١٥</sup> درجات. وانتهى العصر الكهروضعيف عند هذا الحد. ومنذ ذلك الوقت فصاعداً كان يحكم الكون القوى الأربع للطبيعة الموجودة حتى الآن .

وجاء بعد العصر الكهروضعيف عصر الكوارك، الذى امتد حتى أصبح عمر الكون ١٠ <sup>−٤</sup> ثوانٍ. وتتفاعل الكواركات مع الكواركات الأخرى بواسطة القوة الشديدة. وكما رأينا فى الفصل الخامس، فإن السمة المميزة للقوة الشديدة هى أنها تصبح أضعف على المقاييس الأصغر.

وفى بداية هذا العصر كانت درجة حرارة الكون بالغة الارتفاع حتى أن الكواركات ظلت تسلك كما لو كانت جسيمات حرة. ولقد فقدت الطاقة بالتدريج كلما برد الكون، وأصبحت القوة الشديدة أكثر تأثيراً مع هبوط درجة الحرارة. وفى نهاية الأمر كان فى مقدرة الجليونات أن تربط الكواركات مع بعضها البعض، وأصبحت الكواركات مقيدة على هيئة مجموعات من كواركين أو ثلاثة كواركات. وحدث ذلك عندما وصلت درجة الحرارة إلى نحو ١٠ <sup>١٢</sup> درجات. وبعد ذلك الزمن لم يكن فى استطاعة الكواركات أن توجد فى الكون على هيئة جسيمات مفردة، وانتهى عصر الكوارك.

وتترابط الكواركات تماماً مع بعضها البعض، وهى عملية تشبه ما يحدث عندما يتكثف البخار على هيئة ماء. فقد يتحرك جزئ ماء مفرد هنا وهناك فى حرية عندما تتجاوز درجة الحرارة المائة درجة، لكن تحت هذه الدرجة لن تكون لديه الطاقة الحركية ليقاوم قوى التجاذب التى تعمل بينه وبين الجزيئات الأخرى. ومن ثم تترابط الجزيئات

مع بعضها على هيئة سائل. وبالمثل فإن الكواركات تصبح مقيدة فى الكون المبكر، رغم أنها ترتبط فقط بكوارك واحد آخر أو كواركين آخرين فى وقت محدد.

وما أسرع ما تحللت الكواركات التى تتجمع على هيئة أزواج، ونفس الأمر حدث للكواركات الأكثر ثقلاً التى تتكون من ثلاثيات. وكانت الثلاثيات التى تتكون من كواركات قمة وقاع هى التى استقرت. وتلك التى احتوت على كواركين قمة وكوارك قاع شكّلت البروتونات، وتلك التى احتوت على كواركين قاع وكوارك قمة شكّلت النيوترونات. من هنا فإن البروتونات والنيوترونات الموجودة حاليًا فى نوى الذرات تم تكوينها بعد تقييد الكواركات بوقت قصير، أى عندما كان عمر الكون نحو ١٠ $^{-٤}$ ثوانٍ.

وكانت درجة حرارة الكون عندما تكونت تلك الجسيمات لا تزال مرتفعة جدا. حقا لقد كانت أكثر ارتفاعًا من درجة الحرارة الراهنة لسطح الشمس. وكانت القوة الشديدة عاجزة عن ربط البروتونات والنيوترونات معًا لكى تصنع النوى، وتصرفت فى البداية كجسيمات حرة. ولو استطاعت النواة أن تتشكل بطريقة ما، لكانت الفوتونات التى كانت موجودة أيضًا قد هشمتها تمامًا عندما تصطدم بها.

وكان الكون يبرد مع تمدده، وأصبح من الممكن إنتاج نوى ذرية. ويوصف إنتاج النوى ذلك بأنه **تخليق النوى** **nucleosynthesis**. وهكذا اكتملت هذه العملية كلها بعد نحو ثلاث دقائق. وكانت درجة الحرارة أثناء تخليق النوى نحو مليار درجة.

وأبسط نواة هى نواة الهيدروجين فهى تحتوى على مجرد جسيم بروتون واحد.

وإلى حد ما تكوّنت هذه النواة عندما كان عصر الكوارك على وشك الانتهاء.

وعندما يرتبط نيوترون ببروتون تكون النتيجة نواة ديتريوم. وكقاعدة قد تنتج نوى أكثر تعقداً. وحدث فى ذلك الزمن أن تكونت نواة الهليوم التى تحتوى على بروتونين ونيوترونين. وبدقة أكثر، فإن هذا الهليوم معروف باسم هيليوم - ٤ ، لأنه يحتوى فى مجمله على أربع جسيمات. وهناك نواة هليوم أخرى تعرف باسم هليوم - ٣ ، تحتوى على بروتونين وجسيم نيوترون واحد.

وأهم سمات نواة هليوم - ٤ أن النوى الأكثر ثقلاً التى تتكون من جذب بروتون آخر أو نيوترون آخر إليها تكون غير مستقرة إلى حد بعيد. ويتضمن ذلك أنه من الصعب تماماً تكوين هذه النوى بعدد يمكن تقديره. ولهذا السبب فإنه من الصعب جدا أيضاً تكوين نوى أكثر ثقلاً بمزيد من التخليق. وعلاوة على ذلك فإن ضم نواة ديتريوم أو نواة هليوم - ٣ إلى هليوم - ٤ يطلق كمية محددة من الطاقة على هيئة أشعة جاما، ولذلك تعتبر هذه التفاعلات مفضلة من الناحية الحركية. وتكون نتيجتها إنتاج جزء صغير من الليثيوم والبيريليوم. وتحتوى نواة كل من الليثيوم والبيريليوم على ثلاثة وأربعة بروتونات على التوالى.

واستمر الكون يبرد خلال تخليق هذه النوى الخفيفة. ومع انتهاء عملية التخليق هذه لم تعد هناك طاقة كافية لإنتاج النوى الأكثر ثقلاً. ومثال لذلك فإن البروتونات التى ظلت حرة لم تكن لديها الطاقة الكافية لأن تنضم إلى نوى الهليوم، ولم يكن لدى الفوتونات طاقة لكى تحطم هذه النوى. ونتج عن ذلك أنه لم يحدث إنتاج يذكر لنوى أكثر ثقلاً من هليوم - ٤ خلال الانفجار العظيم، رغم أنه حدث كما ذكرنا، إنتاج لبعض الليثيوم والبيريليوم. وهذا الأمر مهم لأن النوى الأكثر ثقلاً الضرورية للحياة مثل الكربون والأكسجين لم يتم تكوينها فى تلك المرحلة.

وكما سنرى فى الفصول التالية كان هناك بروتونات أكثر من النيوترونات فى الكون عندما حدث تخلق النوى. وذهبت غالبية النيوترونات إلى نوى الهليوم - ٤ وأجزاء أقل منها بكثير ذهبت إلى الديتريوم، والهليوم - ٣، والليثيوم والبيريليوم. وبقيت البروتونات الزائدة نوى هيدروجين.

واستمر الكون يتمدد بعد اكتمال تخلق النوى، لكن لم يحدث شىء ذو قيمة لمدة ثلاثمائة ألف سنة أخرى أو ما يقرب منها. وفى هذا الوقت كانت درجة الحرارة قد انخفضت إلى ثلاثة آلاف درجة. وكانت درجة الحرارة هذه على انخفاض كاف لأن تشكل الإلكترونات والنوى الذرات المتعادلة. وكانت الإلكترونات موجودة فى الكون حتى

هذه المرحلة لكنها لم تلعب دوراً مهمًّا نظراً للانخفاض النسبى لكتلتها. ويمثل تشكّل الذرات بداية عصر المادة.

وما حدث خلال عصر المادة يشبه ما حدث خلال عصر تخليق النوى. تذكَّر أنه عندما كانت درجة الحرارة فوق مليار درجة، كان للإشعاع الكهرومغناطيسى ما يكفى من الطاقة لكى يسحق النوى التى تكونت. وبالمثل إذا أُتيح لذرة أن تتكون بطريقة ما عندما كانت درجة الحرارة أعلى من ثلاثة آلاف درجة، كان فى استطاعة الإشعاع أن يتصادم معها ضارباً الإلكترونات لتحريرها. وعلى أية حال فإنه أسفل درجة الحرارة هذه لا يكون لدى الإشعاع ما يكفى من الطاقة لتحرير الإلكترونات، ويمكن للذرات أن تظل موجودة. لقد كان تشكُّل الذرات حادثًا بالغ الأهمية فى تاريخ الكون. ويؤثر الإشعاع الكهرومغناطيسى على الجسيمات المشحونة كهربائيّاً، ولا يؤثر على تلك المتعادلة الشحنة كهربائيًّا. وقبل تشكّل الذرات، كانت الإلكترونات ذات الشحنات السالبة والنوى ذات الشحنات الموجبة تتفاعل مع الإشعاع.

وتعتبر الذرات متعادلة كهربائيًّا لأنها تحتوى على عدد متساو من البروتونات والإلكترونات. وينتج عن تشكّل الذرات اختفاء الشحنة الكهربائية المجردة من الكون. عندئذ يصبح تفاعل الإشعاع مع المادة بالغ الصعوبة. والمؤثر الوحيد هو الإشعاع الذى لديه الطاقة المحددة لأن يجعل الإلكترونات تقفز بين مستويات الطاقة، وكان ذلك يمثل جزءاً بالغ الصغر من إجمالى كمية الإشعاع الموجودة. وانفصلت المادة والإشعاع تماماً عن بعضهما البعض. (وعلينا أن ندرك أن انفصال المادة عن الإشعاع لم يحدث بشكل فورى تماماً، لكن التفاصيل الدقيقة لهذا الأمر لن تؤثر على حوارنا التالى).

وحيث أن أغلب الإشعاع لم يعد يجد جسيمات مشحونة حرة لكى يتفاعل معها، ظل مستقرا بشكل أساسى مع استمرار تمدد الكون. حقا لقد كان قادراً على البقاء سليماً حتى العصر الراهن. وفى الفصل التالى سوف نرى أن وجود هذا الإشعاع فى الكون حالياً يمدنا بدليل قوى على صحة نموذج الانفجار العظيم.

ولم تتغير الطبيعة الأساسية للمادة فى الكون تغيراً ملحوظاً منذ تشكُّل الذرات. من هنا يُعتبر ظهور الذرات التحول الأخير فى تاريخ الكون المبكر. ويقول آخر يمكن اعتبار ذلك المرحلة التى انتهى عندها الانفجار العظيم.

وبعد انتهاء الانفجار العظيم، استمر الكون يتمدد، لكن هذا التمدد لم يكن منتظماً بشكل دقيق، وهذا ما يجب توقعه. ففى بيئة بالغة الكثافة للكون المبكر، لابد أن المادة كانت منتشرة بشكل عشوائى إلى درجة ما، وكانت بعض مناطق الكون أكثر كثافة بقليل من المناطق الأخرى.

ويتضمن وجود كثافة أعلى فى منطقة ما من الكون وجود مادة فيها أكثر من المادة الموجودة فى المناطق الأخرى. وتكون النتيجة أن يتم جذب مزيد من المادة من المناطق المحيطة بهذه المنطقة العالية الكثافة. وتصبح المناطق ذات الكثافة العالية أكثر كثافة بينما تخلو المناطق المحيطة بها من المادة بدرجة كبيرة. وفى نهاية الأمر تصبح قوة جاذبية المادة فى المناطق الأكثر كثافة أشد من التأثيرات المتجهة إلى الخارج الناتجة عن التمدد الكونى.

وفى الواقع، تتشكل هذه المناطق الأكثر كثافة على هيئة "جزر" منفصلة من المادة تتقلص عندئذ بسبب جاذبيتها الخاصة. وقد توجد مناطق فى كل جزيرة تكون فيها الكثافة أعلى ولو قليلاً من الكثافة المتوسطة، فتجذب هذه المناطق مزيداً من المادة كما تم شرحه تواً. وقد تتقلص هذه المناطق بمعدل أسرع من المناطق المجاورة لها. وتنقسم كل جزيرة حينئذ إلى جزر صغيرة منفصلة كلما تدفقت المادة فى المناطق الأكثر كثافة.

ومن المحتمل أن المادة فى كل من هذه الجزر الصغيرة قد شهدت ارتفاعًا فى درجة الحرارة كلما زاد الضغط عليها فيزداد صغر حجمها. وفى نهاية الأمر تصبح درجة الحرارة فى مراكز هذه الجزر الصغيرة على درجة من الارتفاع تتيح لنوى الهيدروجين الاندماج على هيئة نوى هليوم. وكما أوضحنا فى الفصل الثانى، تحدث

عملية "احتراق الهيدروجين" هذه فى مركز النجوم. وتحرر كمية كبيرة من الطاقة على هيئة أشعة جاما، التى ينتج عنها ضغط فى اتجاه الخارج يؤثر على المناطق الخارجية للجزر الصغيرة. وبذلك نتجت آلية تغذية مرتدة حيث تم توازن بين السحب إلى الداخل الناتج عن الجاذبية والضغط إلى الخارج الناتج عن أشعة جاما.

وتشكلت هذه الجزر الصغيرة على هيئة نجوم، وتمثل الجزر الأصلية المكونة من المادة المجرات التى نراها حاليًا. واحتاجت عملية التشظى هذه إلى مدة تقترب من مليار عام كاملة.

وعلى أى حال لم تتشكل شمسنا من أحد هذه الجزر الصغيرة من المادة. ولقد رأينا أن العناصر الأكثر ثقلاً من الهليوم، مثل الكربون والأكسجين، لا يمكن أن تنتج خلال الانفجار الكبير لأن نواة الهليوم مستقرة تماماً. لذلك فإن أول النجوم التى تكونت فى الكون لم يكن لها أن تحتوى على هذه العناصر. لكن الشمس تحتوى على آثار من العناصر الأكثر ثقلاً. كيف إذن تكونت نجوم مثل الشمس؟

قد نحصل على إجابة عن هذا السؤال إذا درسنا ما يحدث لنجم نموذجى بمرور الزمن. يظل النجم مستقراً طالما ظل هناك ما يكفى من الإشعاع الصادر من قلبه ليحافظ على الضغط الضرورى المتجه إلى الخارج. ونعرف أن النجوم تضئ مما يعنى أن بعضًا من الإشعاع الناتج عن التفاعلات النووية ينطلق فى الفضاء. وإذا تمت المحافظة على التوازن بالغ الدقة داخل النجم، تحدث باستمرار عملية إحلال لهذا الإشعاع المنطلق. ويتطلب تعويض هذا الإشعاع تحوّل مزيد من الهيدروجين إلى هليوم، وتعتبر كمية الهيدروجين داخل النجم محدودة، ويسود الهليوم فى القلب تدريجيًا. وينخفض إنتاج الإشعاع الجديد بدرجة كبيرة عندما يتم تحوّل أغلب الهيدروجين. عندئذ ينخفض ضغط الإشعاع إلى الخارج مما يتيح حدوث مرحلة تقلص جديدة.

وتحدد كتلة النجم ما يحدث خلال التقلص التالى. وتتكون المادة داخل النجم بشكل أساسى من البروتونات والنيوترونات والإلكترونات. وكما رأينا فى الفصل

الخامس فإن كلا من البروتون والنيوترون يتكون من ثلاثة كواركات، وأن هذه الجسيمات تعتبر من الفيرميونات. والإلكترون أيضًا فيرميون. والسمة الأساسية لهذه الجسيمات هى وجود حد لعددها الذى يمكن حجزه فى نطاق مكان محدد.

ولذلك نتائج مهمة لما يحدث لنجم بدأ ينهار. ويمكننا تصور الإلكترونات فى نجم ينهار كما لو كانت كرات زجاجية صغيرة موجودة فى كيس. وفى هذا المثال يناظر انهيار النجم انكماش الكيس. وتتقارب الكرات كلما نقص حجم الكيس، وفى آخر الأمر تعجز الكرات عن الحركة هنا وهناك بحرية لعدم وجود مكان كاف فى الكيس. وحيث أن هذه الكرات أجسام صلبة فلا يمكن أن تتشوه، لكنها ستنحشر فى بعضها البعض على هيئة شبكية عند حد ما من تقلص الكيس. وينتج عن هذه الشبكية ضغط شديد القوة إلى الخارج ، ويصبح من الصعب تمامًا حدوث مزيد من الانكماش فى الكيس.

وتسلك الإلكترونات داخل النجم المنهار بطريقة مماثلة للكرات داخل الكيس. وعند درجة معينة من الانهيار لن يكون هناك ببساطة مكان كاف لكى تتحرك الإلكترونات خلاله. وينتج عن ذلك ضغط جديد، ويمكن أن يؤدى هذا الضغط فى بعض النجوم إلى منع مزيد من الانهيار.

وفى عام ١٩٢٨ درس عالم الفيزياء الفلكية سوبراهمانيان شاندراسيكار كيفية تأثير الإلكترونات على انهيار النجوم التى تحترق حتى النهاية. وتم إجراء حسابات مماثلة بشكل مستقل بواسطة عالم الفيزياء الروسى ليف لاندو. وتوصلت حسابات العالمين إلى أن الإلكترونات قد توقف انهيار النجم الذى لا يكون مرتفع الكثافة. وينهار هذا النجم فى النهاية إلى ما يعرف باسم **القزم الأبيض**[٩]. وللقزم الأبيض حجم يضارع حجم الأرض، لكن كثافته أعلى بكثير.

(٩) القزم الأبيض white dwarf : نجم أبيض فى آخر مراحل تطوره يكون براقًا وذا حجم صغير وكثافة كبيرة. (المترجم)

فما الذى يحدث للنجوم الأكثر كثافة؟ تزداد قوة الجاذبية إلى الداخل مع زيادة كتلة النجم. فهل يمكن أن تكون الجاذبية فى هذه النجوم الأكبر من القوة بحيث تتغلب على ضغط الإلكترونات؟

دعنا نعود إلى مثالنا عن الكرات الزجاجية فى كيس. افترض أن لدينا وصلة إلى ضاغط بالغ القوة. من ناحية المبدأ، يمكننا توصيل هذا الضاغط إلى الكيس فى محاولة للتوصل إلى مزيد من حشر الكرات فى بعضها البعض. فإذا كان للضاغط قوة كافية، سوف تتحطم الكرات، وتنهار الشبكية المكونة من الكرات الزجاجية. وتحدث عملية مماثلة فى حالة انهيار النجوم الأكثر كثافة. وتتغلب قوة الجاذبية على الضغط الناتج عن الإلكترونات، وتعجز هذه الجسيمات عن إيقاف الانهيار.

وهناك كتلة حرجة إذا تم تجاوزها تستطيع الجاذبية التغلب على ضغط الإلكترون، وتبلغ نحو ضعف ونصف ضعف كتلة الشمس. وسوف يكون مصير نجم مثل الشمس أن ينتهى إلى قزم أبيض عندما ينفد وقوده النووى خلال نحو خمسة مليارات عام. والنجوم الأكثر كثافة تستمر فى الانهيار دون أن تصبح أقزامًا بيضاء. .

فما الذى يحدث لمثل هذه النجوم؟ تعتبر البروتونات جسيمات فيرميون أيضًا، لذلك فإنها تسلك أيضًا مثلها مثل الكرات الزجاجية داخل كيس. ولنا أن نتوقع أن ينتج عن هذه الجسيمات ضغط جديد مماثل لما نتج عن الإلكترونات، لكن هذا لا يحدث. تنحشر البروتونات والإلكترونات بشدة داخل النجم المنهار، وما أسرع ما يقل متوسط الفواصل بينها إلى حد تصبح عنده القوة الضعيفة عاجزة عن العمل. وتستطيع هذه القوة توحيد البروتونات والإلكترونات وتحولها إلى نيوترونات. وتحدث عملية التحويل هذه داخل النجم المنهار. حقًا، يتم إنتاج كثير من النيوترونات فى القلب حتى يصبح مشبعًا بها.

ولهذا التحول نتائج مهمة، فحيث أن النيوترونات هى فيرميونات أيضًا، فإن خواصها الشبيهة بالكرات الزجاجية تُسبب ضغطًا جديدًا يمنع المزيد من الانهيار. ويتم

القذف بالمناطق الخارجية من النجم، وينتج عن هذه العملية كمية ضخمة من الطاقة. ويسبب ذلك زيادة فى تألق النجم إلى درجة كبيرة. وعند رؤيته من على بعد، يبدو النجم كما لو كان ينفجر، ويُشار إلى ذلك بأنه متجدد أعظم **سوبرنوفا**(١٠). ولقد تم فى نحو ذلك الزمن ظهور العناصر الثقيلة جدا نظرًا لدرجات الحرارة بالغة الارتفاع التى كانت موجودة حينئذ.

ومن المحتمل أن كثيرًا من النجوم الأصلية كانت على درجة كافية من الضخامة جعلت كل منها ينفجر على هيئة متجدد أعظم خلال مليار عام من تشكّلها. وبردت البقايا المقذوفة من هذه النجوم مع مرور الزمن. وقد يكون بعض المادة قد انهار فى آخر الأمر حول منطقة عالية الكثافة. وانهارت إحدى هذه المناطق إلى ما نعرفه الآن على أنه مجموعتنا الشمسية، بشمسها وكواكبها، منذ نحو خمسة مليارات عام. وبناء على هذا السيناريو، تم تخليق الكربون والأكسجين فى أجسادنا فى قلب نجم ضخم ثم تم إطلاقه بانفجار متجدد أعظم. وبكل ما فى الكلمة من معنى، فإن كل منا جاء من مادة نجمية !

وبهذا تكتمل حكايتنا عن تاريخ الكون. لقد تتبعنا تطوره من أول $10^{-43}$ ثوانٍ عبر مليارات السنوات خلال تكوين المجرات والنجوم ونظامنا الشمسى. ومن ناحية أخرى فليست هذه هى القصة كاملة على أى حال. فمازال علينا أن نناقش الملاحظات الخاصة بعلم الكونيات التى تشير إلى أن الكون قد نتج فعلاً عن انفجار عظيم. ورغم وجود أدلة قوية على صحة التصوز الذى قدمناه فى هذا الفصل، فقد يكون تصورًا غير مكتمل.

وفى الفصل التالى سوف نناقش مدى حاجة نموذج الانفجار العظيم إلى التوسع .

•

(١٠) متجدد أعظم supernova : ظاهرة سماوية نادرة الحدوث ينفجر فيها النجم ويظهر جسم لامع لفترة قصيرة ويصدر كمية كبيرة من الطاقة. (المترجم)

# الفصل الثامن

## ما بعد الانفجار العظيم

ناقشنا فى الفصل الثانى الملاحظات الموثوق بها تمامًا التى أوضحت أن الكون يتمدد فى عصرنا الراهن. ويمثل التمدد الحالى للكون أول دليل فى صالح نموذج الانفجار العظيم، رغم أنه لا يعتبر دليلاً فى حد ذاته، كما تم شرحه فى الشكل ٤ -٣ . وهناك ملحوظتان أخريان مهمتان تدعمان النموذج. أولهما الوفرة النسبية للهيدروجين والهليوم فى الكون. والثانية وجود الإشعاع الكونى فى العصر الراهن.

ولقد تم تحديد كمية الهليوم الناتجة خلال عصر التخليق النووى بالعدد النسبى للنيوترونات والبروتونات التى كانت موجودة فى ذلك الوقت. وتم تكوين هذه الجسيمات بعد عصر الكواركات بزمن قصير، عندما أصبحت الكواركات مقيدة بالقوة الشديدة. وكان عمر الكون نحو $١٠^{-٤}$ ثوانٍ عندما حدث ذلك. واحتاج الأمر إلى ثلاث دقائق أخرى أو أكثر لكى يبرد الكون إلى حد كاف لاكتمال عملية تخليق الهليوم.

من هنا كان على النيوترونات والبروتونات أن تنتظر حتى يمكنها البدء فى إنتاج النوى الذرية. ولأن كتلة النيوترون أعلى بقليل من كتلة البروتون، فإن طاقة النيوترونات أكثر بقليل، لذلك يمكن للنيوترون الحر أن يتحلل إلى بروتون. وحدث أن تغير كوارك قاع إلى كوارك قمة، وسمح تأثير القوة الضعيفة باحتمال حدوث هذا التغير. (وينتج

أيضاً إلكترون للمحافظة على الشحنة الكهربائية، وظهر أيضاً لبتون يعرف باسم "نيوترينو مضاد الإلكترون" خلال هذا التحلل، لكن هذه التفاصيل لا تهمنا هنا).

وكانت درجة حرارة الكون فى وقت بداية إنتاج النيوترونات والبروتونات مازالت مرتفعة نسبيا . وكان من المحتمل أيضاً حدوث التفاعل العكسى بتغير البروتون إلى نيوترون، بواسطة التفاعل الضعيف. ولابد أن حالة توازن بين النيوترونات والبروتونات قد تم التوصل إليها، وأن عدداً متساوياً من كل منهما كان موجوداً فى البداية فى الكون. وعلى أى حال فإنه مع انخفاض درجة الحرارة أصبحت الكتلة الأعلى للنيوترون أكثر أهمية، ولم تعد البروتونات قادرة بعد ذلك على التحول إلى نيوترونات. وحدث ذلك عندما كان عمر الكون نحو ثانية واحدة، وكانت درجة الحرارة نحو ١٠ ^١٠^ درجات. كانت النيوترونات مازالت قادرة على التحلل إلى بروتونات رغم أن درجة الحرارة ظلت مرتفعة جدا بحيث لم يكن ممكناً للهليوم أن يتكوّن. ومع تحلل مزيد ومزيد من النيوترونات، زاد نصيب البروتونات فى الكون.

وكانت النتيجة النهائية وجود بروتونات أكثر من النيوترونات فى الكون عندما بدأ التخليق النووى يحدث فى نهاية الأمر. وأصبح أغلب النيوترونات الباقية حبيس نوى الهليوم - ٤ ، بينما انتهى الأمر بالباقى فى الديتريوم والهليوم - ٣ والليثيوم. وبقى الكثير من البروتونات الحرة، وانتهى بها الأمر إلى تكوين ذرات الهيدروجين.

وتعتبر ذرتا كل من الهيدروجين والهليوم مستقرتين. لذلك فإن أغلب النوى التى تكونت خلال الانفجار العظيم بقيت حتى وقتنا الراهن. وهذه هى السمة التى تتيح لنا اختبار مصداقية تصور الانفجار العظيم. ويتمثل الأمر فى استخدام فهمنا للفيزياء النووية لتحدد كمية الهيدروجين والهليوم التى تكونت خلال الانفجار العظيم. ويجب أن تظل هذه الكميات النسبية ثابتة خلال التطور التالى للكون. لذلك نستطيع التنبؤ بكمية الهيدروجين والهليوم الموجود حالياً فى الكون. ثم علينا أن نقارن هذا التنبؤ بالكمية التى تتم ملاحظتها فى الواقع. ويتيح لنا الاتفاق بين التنبؤ النظرى والرصد دعماً قويا لنموذج الانفجار العظيم.

وعند اكتمال الحسابات تتنبأ النظرية بأن نصيب كتلة الهليوم يجب أن يكون خمسة وعشرين فى المائة تقريبًا. كيف يتم مقارنة ذلك مع نتائج الرصد؟ تعتبر عمليات الرصد معقدة نسبيا إذا عرفنا أن الهليوم نتج أيضًا فى النجوم عندما اندمجت نوى الهيدروجين معًا.

فإذا نتج عن ذلك انفجار نجم على هيئة متجدد أعظم، يتم قذف هذا الهليوم فى الفضاء الخارجى. ولا يمكن تمييز الهليوم النجمى من الهليوم الناتج عن الانفجار الأعظم وقد يُفسد ذلك نتائج الرصد. ويجب إجراء عمليات الرصد فى مناطق لا توجد فيها نجوم.

ومن اللافت للنظر أن نتائج الرصد فى هذه المناطق تتفق بدرجة كبيرة مع التنبؤ الناتج عن نموذج الانفجار العظيم. ويمكننا ملاحظة هذا الاتفاق فى كثير من المناطق المختلفة فى الكون. فإذا كان الهليوم ناتج عن عمليات محلية؛ مثل ما يحدث فى النجوم مثلاً، يمكننا أن نتوقع اختلاف تركز الهليوم من منطقة إلى أخرى، لذلك فإن عدم ملاحظة ذلك يعنى أن الهليوم له أصل بدائى بالفعل. ويتضمن هذا الاتفاق بين النظرية ونتائج الرصد أن تصورنا عن الكون المبكر عندما كان عمره دقائق قليلة صحيح بشكل مقبول.

واستمر الكون يتمدد ويبرد بعد عصر التخليق النووى، وظل فى حالة مستقرة نسبيًا لمدة ثلاثة آلاف سنة أخرى أو ما يقرب من ذلك حتى استطاعت الذرات أن تتكون. وخلال ذلك الزمن، كان الكون يتكون من بلازما ساخنة من النوى ذات الشحنات الموجبة، والإلكترونات ذات الشحنات السالبة والفوتونات. ولأن الفوتونات تتفاعل مع الجسيمات المشحونة، تصادمت بالإلكترونات والنوى. وحدث الكثير من هذه التصادمات كل ثانية لأن كثافات الجسيمات كانت لا تزال مرتفعة جدا.

وانفصلت الفوتونات عن المادة عند تشكّل الذرات. ومع انتهاء هذا الانفصال لم يعد هناك أية جسيمات مشحونة حرة موجودة فى الكون. وأصبحت الفوتونات حينئذ قادرة على الانتقال خلال الكون دون أن يعوقها أى شىء. وبقيت حتى وقتنا الراهن.

ما تأثير تمدد الكون على طاقة هذه الفوتونات؟ كما أوضحنا فى الفصل الرابع، حدث تمدد الكون لأن المكان نفسه كان منبسطًا. ويشبه ذلك تمدد بالونة عند ضخ هواء داخلها. ومن المهم التأكيد على أن هذه الفوتونات ملأت الكون كله فى بداية عصر المادة. ويمكننا وضع مثال لهذه الفوتونات برسم علامات بقلم على كل سطح البالونة. وكلما انتفخت البالونة يظل سطحها مغطى بكامله بعلامات القلم. ويتضمن ذلك أن الفوتونات ستظل تملأ الكون بعد انفصالها. وعلى أى حال، حيث إن كمية الحبر نفسها قد تم استخدامها لتغطية مساحة السطح المتضخمة، سوف تضمحل كثافة الحبر. وبالمثل فإن طاقة الفوتونات سوف تنخفض مع تمدد الكون. واضمحلال كثافة الحبر متساو فوق كل البالون، وذلك يعنى أنه رغم فقد الفوتونات للطاقة فإن ذلك يحدث بالمعدل نفسه لها جميعًا.

ويتنبأ نموذج الانفجار العظيم بأن الكون سيغرق فى الفوتونات - أى فى الإشعاع الكهرومغناطيسى - فى العصر الراهن.

ويجب أن يكون لكل هذه الفوتونات نفس الطاقة. وفى وقتنا الراهن تعتبر هذه الطاقة بالغة الانخفاض، حيث أن الكون قد تمدد منذ عشرة مليارات سنة على الأقل. وفى الواقع، تتنبأ نظرية علم الكونيات الحديثة بأن درجة الحرارة الحالية للإشعاع يجب أن تكون ثلاث درجات فقط فوق الصفر المطلق.

وطول موجة هذا الإشعاع تعتبر طويلة نسبيا، أطول بكثير من أطوال موجات الضوء المرئى مثلاً. ويتنبأ نموذج الانفجار العظيم بأن طول الموجة الموجود حاليًا يجب أن يتراوح بين عدة ملليمترات وعدة سنتيمترات، وهو ما يناظر نطاق الموجة الدقيقة **الميكروويف**(١١) فى الطيف الكهرومغناطيسى. ويجب أن يكون الكون كله غارقًا فى الوقت الراهن فى موجات ميكروويف إذا كان نموذج الانفجار العظيم صحيحًا. ويُشار

(١١) الموجة الدقيقة microwave . موجة كهرومغناطيسية عالية التردد طولها من ملليمتر واحد إلى متر متوسط بين الأشعة فوق الحمراء وموجات الراديو القصيرة. (المترجم)

إلى هذا الإشعاع بأنه **إشعاع الخلفية الكونى الميكروويفى**. وهو نفس النوع المستخدم فى أفران الميكروويف. وعلى أى حال لسنا مهددين بأن يتم شواؤنا بهذا الإشعاع، لأن كثافته بالغة الانخفاض.

ولقد تم اكتشاف إشعاع الخلفية الكونى فى ١٩٦٥ بواسطة باحثين أرنو بينزياس وروبرت ولسون. ويعطى وجود هذا الإشعاع القادم من كل اتجاه فى الكون دعمًا قويا لوجهة النظر التى يتبناها أغلب علماء الكونيات القائلة بأن نموذج الانفجار العظيم صحيح فى جوهره. ومع ذلك ما يزال هناك بعض سمات للنموذج لم يتم فهمها بشكل كامل. وسوف نختم هذا الفصل بمزيد من فحص هذه الموضوعات.

دعنا نبدأ بدراسة تمدد الكون. لقد أوضحنا فى الفصل الثالث أن الكون يتمدد فى الوقت الراهن، والسؤال الذى يطرح نفسه هو ما إذا كان هذا التمدد سوف يستمر. وهذا هو الموضوع، هل سيتمدد الكون بلا نهاية، أو سيبدأ فى التقلص من جديد عند حد معين؟

ويمكن تمثيل تمدد كوننا بدراسة ما يحدث لكرة تم إلقاؤها عاليًا فى الهواء. وفى هذا المثال، يمثل الارتفاع الذى تصل إليه الكرة فوق سطح الأرض حجم الكون. وفى هذا الإطار فإن الارتفاع الأكبر يمثل كون أكثر ضخامة. وتتطابق الكرة التى ترتفع مع الكون الذى يتمدد، والكون الذى يتقلص يمثل الكرة التى تسقط.

تصور ما يحدث إذا تم رمى الكرة بواسطة لاعب رياضى مثلاً، يمكنه أن يُكسب الكرة كمية معينة من الطاقة الحركية، مما يتيح لها أن تنطلق إلى أعلى ضد الجاذبية. وسوف يُنظر إلى صفة السحب لقوة الجاذبية على أنها طاقة سلبية. ومع ارتفاع الكرة فإنها تفقد طاقة حركية وتكتسب طاقة وضع.

وحتى لو كانت الرمية جيدة تمامًا فإن ارتفاع الكرة لن يتجاوز عدة أمتار فقط قبل أن تبدأ فى السقوط سريعًا من جديد إلى الأرض. ويحدث ذلك لأنه تم إكساب الكرة كمية صغيرة فقط من الطاقة الحركية بواسطة الرامى.

وستصل الكرة إلى ارتفاع أكبر لو تم إعطاؤها مزيداً من الطاقة الحركية. ويمكن التوصل إلى ذلك، مثلاً، بإطلاقها من مدفع. فإذا كان المدفع ذو قوة كافية ستتغلب الكرة تماماً على سحب جاذبية الأرض، لأن طاقتها الابتدائية كبيرة جدا. وفى هذه الحالة لن تعود الكرة أبداً إلى سطح الأرض، وسوف يزداد ارتفاعها إلى حد كبير إلى الأبد.

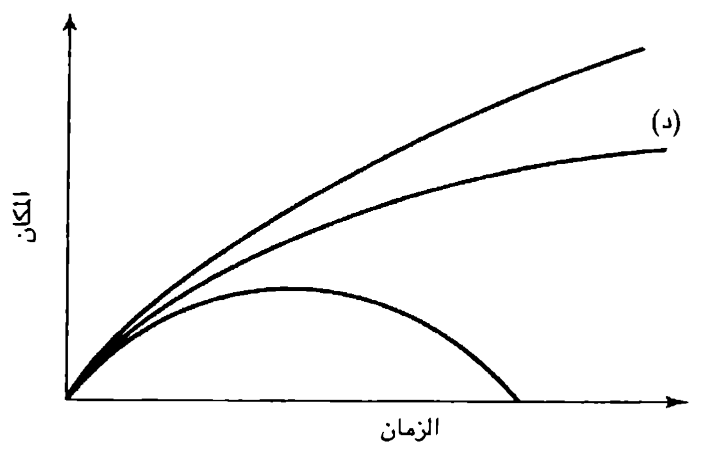
ويمثل المثال السابق، حيث يتم قذف الكرة بواسطة لاعب رياضى، الكون الذى تمدد فى البداية لكنه انهار من جديد بعد زمن محدد. وفى الحالة الثانية، حيث تم قذف الكرة بمدفع وانطلقت حرة، تمثل الكون الذى يتمدد إلى الأبد.

وأهم ما فى الموضوع وجود عاملين يؤثران على أعلى ارتفاع تصل إليه الكرة. الأول هو الطاقة الحركية الابتدائية التى اكتسبتها الكرة عند إطلاقها، والثانى هو تأثير الجاذبية عند سطح الأرض. ويتحدد تأثير الجاذبية بكتلة الأرض. ويتحكم أمر مماثل فى المصير المستقبلى للكون. فتؤدى الشروط الأولية للانفجار العظيم إلى تمدد المسافة بين الجسيمات، ويتباطأ التمدد بسبب الجاذبية، ويتحدد معدل التباطؤ بكمية المادة فى الكون.

ويصارع هذان العاملان بعضهما البعض باستمرار. وتتحدد إجابة السؤال حول ما إذا كان الكون سيتمدد أم أنه سيتقلص فى المستقبل بأى العاملين سيتغلب على الآخر. فإذا كان هناك ما يكفى من طاقة التمدد فى الانفجار العظيم، فإن الكون سوف يكون حراً فى التمدد إلى مالانهاية. وإذا كان هناك الكثير جدا من المادة فى الكون، سوف تؤدى الطاقة السالبة للجاذبية إلى توقف التمدد فى آخر الأمر وحلول التقلص مكانه.

والاحتمالات المختلفة موضحة فى الشكل ٨ - ١ وفى هذا الشكل نرى المنحنى "د"، الناتج عن حالة التوازن الدقيق بين الطاقة الابتدائية وطاقة الجاذبية السالبة فى الكون، ويماثل حالة اكتساب الكرة الطاقة الحركية الكافية فقط للهروب من سطح الأرض. وفى هذه الحالة يمكن للكون أن يتمدد إلى الأبد.

ما هو المنحنى فى الشكل ٨ - ١ الذى يمثل كوننا؟ من المدهش إلى حد كبير، أن نتائج الرصد تشير إلى أن كوننا يسلك تبعًا لمنحنى قريب تمامًا من المنحنى "د". حقا، إنه على درجة من القرب منه حاليًا حتى أننا لا يمكننا القول بأنه يقع فوق هذا المنحنى أو أدناه. وعناصر عدم التأكد من هذا الأمر بواسطة عمليات الرصد مازالت كثيرة جدا لا تتيح لنا التوصل إلى نتيجة محددة. فنحن لم نعرف بعد ما إذا كان الكون سيتمدد إلى الأبد أم أنه سيتقلص من جديد فى آخر الأمر. ولهذه النتيجة تضمينات مهمة فيما يتعلق بفهمنا للانفجار العظيم.




الشكل ٨ - ١ يتم تحديد التطور المستقبلى للكون بواسطة الكمية النسبية للمادة الموجودة فيه. فإذا كانت هناك كتلة كافية فى الكون، سوف يتوقف التمدد فى نهاية الأمر ويعود الكون إلى التقلص. وينتج عن ذلك، أن الكون قد يتمدد إلى مالا نهاية إذا كانت كثافة المادة منخفضة نسبيا. ويفصل المنحنى "د" بين الاحتمالين، وهو المنحنى الذى يشير إلى إمكانية أن يتجنب الكون بالكاد التقلص من جديد.

وللشكل ٨ - ١ سمة مهمة، لاحظ كيف أن المنحنيات الثلاثة لا تتقاطع أبدًا. وأنها تتباعد شيئًا فشيئًا عن بعضها البعض بمرور الزمن وتتجمع إذا عدنا فى الزمن إلى الخلف. وهذا يعنى أن المنحنى الذى يمثل تمدد كوننا سوف يبتعد بمرور الزمن عن المنحنى "د" كلما كبر عمر الكون، لكنه كان أكثر قربًا منه خلال الانفجار العظيم.

ويتركز الموضوع فى أن الكون مازال حتى وقتنا الراهن قريباً جدا من المنحنى "د" رغم أنه يتمدد منذ أكثر من عشرة مليارات سنة. ويعنى هذا أنه كان قريبًا تمامًا من "د" عند الانفجار العظيم. وبكلمات أخرى، فلابد أن الكون قد بدأ بطاقته الموجبة المتوازنة بدقة تقريبًا مع طاقة الجاذبية السالبة. ولابد أن الطاقتين كانتا متماثلتين تقريبًا، وإلا لم يكن الكون قد بقى على هذه الدرجة من القرب من المنحنى "د" كل هذا الزمن الطويل.

وهكذا نرى أن هناك حدوداً لمدى قدرتنا على العودة فى الزمن بواسطة نظرياتنا الحالية. فأكثر الأزمنة ابتعاداً التى يمكن دراستها هو زمن بلانك، المناظر للزمن ١٠ ^-٤٣^ ثوان بعد خلق العالم.

ومن الممكن حساب مدى اقتراب التوازن بين الطاقتين المختلفتين فى ذلك الزمن. ولن يكون الفرق النسبى بينهما أكثر من ١٠ ^-٦٠^ اتساقًا مع نتائج الرصد الحالى. أى أن مقدار أىٍّ منهما لن يتجاوز مقدار الأخرى بجزء من ١٠ ^٦٠^ .

وهذا مقدار بالغ الصغر. ونموذج الانفجار العظيم فى شكله الراهن عاجز عن تفسير كيفية حدوث هذا التوازن الدقيق. وهذا يوضح أن النموذج غير كامل بشكل أو بآخر. ولابد أن هناك عمليات فيزيائية كان لها تأثير فى الأزمنة المبكرة دفعت الكون إلى المنحنى "د". وسوف نناقش هذه العمليات فى الفصل التالى.

واللغز الثانى المصاحب لنموذج الانفجار العظيم يرتبط بعملية تكوّن المجرات. فنحن نعلم من ملاحظات الرصد أن مليارات المجرات توجد فى الكون حاليًا. والسؤال حول كيفية تكوُّن هذه المجرات من كرة نارية أصلية يعتبر أحد أهم المسائل التى لم يتم حلها فى علم الكونيات. وهناك كمية ضخمة من الوقت والمجهود مكرسة حاليًا للإجابة عن هذا السؤال.

ولقد قدَّمنا فى الفصل السابق الخطوط العريضة لأحد السيناريوهات، ولو من ناحية الأسس الأولية، يتوقع أنه بدأ تشكيل المجرات بمجرد أن أصبحت الذرات

مستقرة. والفكرة الأساسية تتمثل فى أن شذوذات بسيطة فى توزيع المادة نتجت خلال الانفجار العظيم، وأن كثافة هذه المناطق قد زادت بالتدريج بعد الانفصال حيث تم جذب المادة إلى هذه المناطق. وفى آخر الأمر أصبحت قوة سحب الجاذبية فى هذه المناطق على درجة من القوة سمحت بأن تبدأ هذه المناطق فى السلوك كأجرام جاذبة مترابطة. ثم بدأت هذه الجزر من المادة فى التقلص. وخلال هذه العملية تشظت إلى جزر صغيرة متعددة، ثم تشكلت هذه الجزر الصغيرة على هيئة نجوم.

وللأسف هناك مشكلة فى هذا التصور لتشكيل المجرة، تتمثل فى الحجم الابتدائى لكثافة الشذوذات. فهذه الشذوذات تحدد مدى سرعة جذب المادة إلى مناطق الجزيرة. فالشذوذ الأكبر يجذب المادة بمعدل أسرع، حيث أن سحب الجاذبية أقوى. وبالعكس فإن المادة الأقل تنجذب نحو الشذوذات الأصغر.

ويتيح لنا فهمنا الحالى للانفجار العظيم أن نحسب الحجم المتوقع للشذوذات الابتدائية. فالكون الجديد يتصرف مثل البلازما الساخنة، والعمليات التى تجرى داخل هذه البلازما معروفة نسبيا بشكل جيد. من هنا يمكن استنتاج تقدير يعوّل عليه لمقدار الشذوذات. والنتائج مدهشة إلى حد بعيد، فالتذبذبات التى تم التنبؤ بها صغيرة جدا. ولهذه النتيجة أثر كبير على التصور الذى قدّمناه سابقًا لأنها تتضمن أن تكوين المجرات كان عملية بطيئة جدا. وفى الواقع لابد أنه لم يكن هناك ما يكفى من الوقت لكى تظهر كل هذه البنية التى نراها حاليًا. ويشير ذلك إلى أن الاضطرابات الأولية لابد أنها نتجت عن آلية مازال علينا أن ندرسها.

والمشكلة الأخيرة المتعلقة بنموذج الانفجار العظيم والتى سنناقشها فى هذا الفصل ترتبط بإشعاع الخلفية الكونى الميكروويفى. ظل هذا الإشعاع مستقرًا من الناحية الأساسية منذ كان عمر الكون نحو مائة ألف سنة. ويقدم سمة مدهشة، حيث أن له نفس درجة الحرارة فى كل الاتجاهات حتى حدود جزء من مائة ألف. ويتضمن ذلك أن لهذا الإشعاع حاليًا نفس درجة الحرارة فى كل الكون الذى يتم رصده. ما معنى هذه النتيجة؟

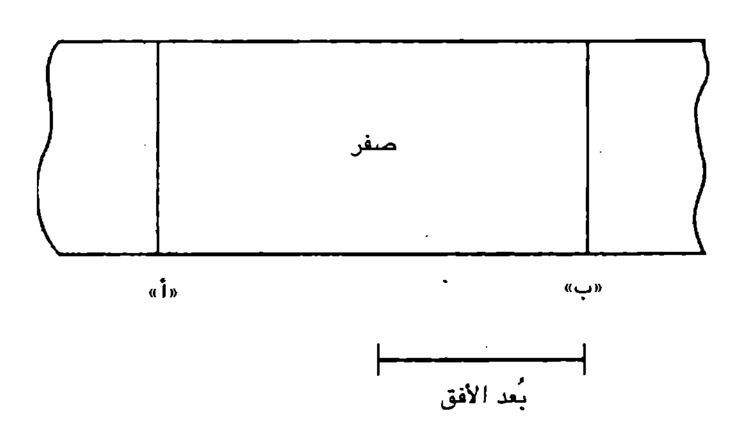
يقال لتوزيع المادة أو توزيع الإشعاع المتصف بانتظام درجة الحرارة أنه فى حالة **توازن حرارى**. وتوضح لنا حقيقة أن درجة حرارة إشعاع الخلفية الكونى الميكروويفى منتظمة، أنه كان فى حالة توازن حرارى بالضرورة عندما انفصل عن المادة. ولقد احتاج التوازن إلى وقت محدود لكى يحدث. ومن المدهش أن الانفجار العظيم لم يستمر ما يكفى من الوقت لكى يصل كل الإشعاع الذى نرصده حاليًا إلى نفس درجة الحرارة. من هنا تنشأ مشكلة عندما نحاول تفسير سبب عدم اختلاف درجة الحرارة من مكان إلى آخر.

كيف يتم التوصل إلى الاتزان الحرارى؟ افترض أن لدينا كوبًا من الماء الساخن وسكبناه فى كوب من الماء البارد. تعتبر درجة حرارة الماء مقياسًا لمدى سرعة تصادم الجزيئات هنا وهناك فى الكوب. وتكون درجة الحرارة فى البداية موزعة بشكل غير متساو فى الكوب، لذلك لا يكون الماء فى حالة اتزان حرارى. ومع مرور الوقت تتصادم الجزيئات الساخنة فى الجزء العلوى من الكوب مع تلك الآتية من الجزء البارد من الكوب، مما يسبب انتقال مزيد من الطاقة إلى المناطق الأكثر برودة. وتستمر عملية إعادة توزيع الطاقة حتى تصبح درجة الحرارة هى نفسها فى كل الكوب. ومن هذه اللحظة فصاعدًا يصبح الماء فى حالة توازن حرارى.

وأهم ما فى هذا الموضوع أن الحرارة تحتاج زمنًا لكى تصبح موزعة بالتساوى فى الكوب. أى أن جزيئات الماء فى قمة وقاع الكوب لا تصل إلى نفس درجة الحرارة فجأة. وبالمثل لابد أن الأمر احتاج زمنًا لكى يصل الإشعاع الذى نرصده حاليًا إلى التوازن الحرارى.

ويمكننا فهم سبب عدم وجود وقت كاف لكى يحدث خلاله توازن حرارى فى الانفجار العظيم بدراستنا للتماثل فى البعد الواحد. دعنا ننظر للكون على أنه قطعة من المطاط، كما هو موضح فى الشكل ٨ -٢ ويُشار إلى موقعنا الراهن فى الكون بالنقطة "صفر". وفى أى لحظة من تاريخ الكون، هناك حد للمسافة التى يمكن للملاحظ

مشاهدتها. وينتج هذا من أن للكون عمراً محدوداً. وتكون النتيجة أن إشارة الضوء التى بدأت رحلتها بعد الانفجار العظيم بوقت قصير لابد لها أن تنتقل عبر مسافة محدودة. وحيث أنه ليس هناك ما ينتقل أسرع من الضوء، فإن هذه المسافة تكون هى أقصى مسافة متاحة للمشاهد.



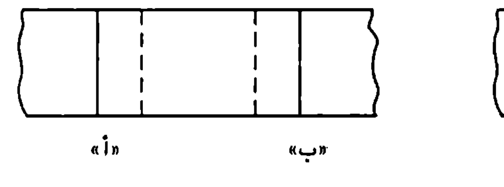

الشكل ٨ – ٢ : يتضمن العمر المحدود للكون وجود حد لمدى ما يراه المشاهد "صفر". ويُشار إلى هذا الحد بالخطين "أ" و"ب". ويطلق على المسافة بين الخطين بعد الأفق وتمثل حجم الكون المرصود. وقد يمتد الكون الفعلى إلى أبعد من بعد الأفق.

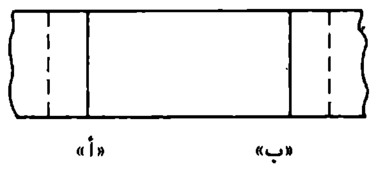
وأبعد مناطق يمكن رصدها فى كوننا هى تلك المشار إليها فى الشكل ٨ – ٢ بالخطين "أ" و"ب". ويوجد الخطان فى جهتين متضادتين من خط نظرنا. والمسافة بيننا وبين هذين الخطين يطلق عليها "حد الأفق"، ويتحدد بالمسافة التى يقطعها الضوء منذ بداية الكون. ويتم التوصل إلى أى حد أفق محدد بضرب عمر الكون فى سرعة الضوء. وتبلغ هذه القيمة حاليًا نحو عشرة مليارات سنة ضوئية. وتمثل هذه المسافة أيضًا أقصى مقياس يمكن للعمليات الفيزيائية أن تصل إليه.

ورغم أن حد الأفق يحدد مدى ما يمكننا رؤيته فى عصر ما، فإنه لا يمثل بالضرورة الحجم الفعلى للكون. فقطعة المطاط قد تمتد أبعد من مسافة الأفق، أو لا تمتد أبعد من ذلك. وليس لدينا طريقة ما لكى نستنتج الامتداد الحقيقى لقطعة المطاط من خلال رصدنا، لأنه لا يوجد ما يكفى من الزمن منذ بداية الكون يمكن خلاله لفوتون مرسل من مكان أبعد من الأفق أن يصل إلينا.

دعنا ندرس العصر الذى انفصلت المادة خلاله عن الإشعاع عندما كان عمر الكون ثلاثمائة ألف عام. لابد أن المسافة الطبيعية التى تفصل بين الخطين "أ" و"ب" كانت أقصر من ذلك عند الانفصال. وبشكل عام يمكن النظر إلى المسافة الطبيعية فى الكون باعتبارها مسافة تفصل بين جزيئين نموذجيين، كما أوضحنا فى الفصل الأول. ولابد أيضًا أن حد الأفق المناظر لزمن الانفصال كان أصغر مما هو عليه حاليًا، لأن الضوء كان لديه زمن أقل لكى ينتقل. والسؤال الذى ينشأ يدور حول ما إذا كانت المنطقة التى يمكن رصدها حاليًا من الكون، والمحددة بين الخطين "أ" و"ب" فى الشكل ٨ – ٢ كانت أكبر أم أصغر من حد الأفق الفعلى فى ذلك الزمن.

والاحتمالان موضحان فى الشكل ٨ –٣ وفى الشكل ٨ –٣ "ج" تتجاوز المسافة بين "أ" و"ب" حد الأفق، لكن العكس صحيح فى الشكل ٨ –٣ "د". وفى الشكل الأول، لابد أن النقطتين "أ" و"ب" كانتا عاجزتين عن الاتصال فيما بينهما، وأن درجتى الحرارة لكل منهما ظلتا غير مترابطتين. لكن كان لديهما الوقت الكافى للوصول إلى نفس درجة الحرارة بوساطة التفاعلات الفيزيائية كما هو حادث فى الشكل ٨ – ٣ " د ".






الشكل ٨ - ٣ج" رسم توضيحى للكون فى عصر الانفصال. ويشير الخطان المنقطان إلى حجم الأفق فى ذلك الزمن. ومنطقة "الكون" المرن المحدد بالخطين "أ" و"ب" يناظر بذلك الجزء من الكون المتضمن فى أفقنا الراهن. وفى هذا الشكل يكون حجم الأفق عند الانفصال أصغر من المسافة بين "أ" و"ب". وهاتان المنطقتان لم يكن فى استطاعتهما الاتصال ببعضهما البعض، وليس هناك مبررا لأن نتوقع أنه كان لهما نفس درجة الحرارة. والشكل "د" إذا كان حجم الأفق أكبر من المسافة بين المنطقتين، وليس فى ذلك مشكلة.

ما هو الاحتمال من بين هذين الاحتمالين المناظر لكوننا؟ يعتمد المعدل الذى زادت به المسافة الطبيعية بين "أ" و"ب" بعد الانفصال على كمية طاقة التمدد المتاحة فى الكون. وفى نموذج الانفجار العظيم، تزداد المسافة الطبيعة بمعدلات أقل من سرعة الضوء، باعتبار أن الفراغ بين جزيئين متوسطين يتمدد بمعدل أقل من سرعة الضوء. ولكن حد الأفق يزداد بسرعة الضوء.

وتناظر المسافة الطبيعية بين الخطين "أ" و"ب" فى الشكل ٨ - ٢ حد الأفق فى الوقت الراهن. لذلك فلابد أن حد الأفق عند الانفصال كان "أصغر" من المسافة الطبيعية بين "أ" و"ب"، حيث أن الأخيرة تزداد بمعدل أكثر بطئًا.

من هنا فإن الشكل ٨ - ٣ "ج" ينطبق على هذه الحالة ولم تكن الفوتونات عند "أ" و"ب" على اتصال مباشر مع بعضها البعض عند الانفصال.

وتنشأ هنا مشكلة إذا حاولنا فهم سبب أن لهما معًا نفس درجة الحرارة. كيف استطاعت هذه الفوتونات أن تصل إلى حالة التوازن الحرارى فى زمن الانفصال؟ يبدو الأمر كما لو أن طاهيين اختارا ضبط فرنيهما بدقة على نفس درجة الحرارة حتى لو لم يكن لديهما أية وسيلة لمعرفة ما يفعل كل منهما.

وللتلخيص، رأينا كيف يمكن لنموذج الانفجار العظيم أن يفسر التمدد الملحوظ للكون، وكذلك الوفرة النسبية للهيدروجين والهليوم وأصل الإشعاع الكونى. ورغم هذا النجاح الواضح، يظل هناك عدد من الأسئلة المحيرة. لماذا يتوازن تمدد الكون بدقة تقريبًا مع سحب جاذبية المجرات؟ وكيف تكونت هذه المجرات؟ ولماذا تكون درجة حرارة الإشعاع الكونى منتظمة فى كل الكون؟

إنْ نموذج الانفجار العظيم عاجز عن الإجابة عن كل هذه الأسئلة. ويحتاج لتوسيعه بطريقة ما. وقد يتم حل هذه المشكلات بعمليات فيزيائية كانت مؤثرة قبل وخلال عصر التوحيد الأكبر عندما كان عمر الكون أقل من ١٠ $^{-٣٥}$ ثوانٍ. وسوف نبحث طبيعة هذه العمليات فى الفصل التالى.



# الفصل التاسع

# الكون المتضخم

سوف ندرس فى هذا الفصل ما يحتاجه تحسين نموذج الانفجار العظيم. ولقد عرفنا فى الفصل السابق أن هذا النموذج يعانى من بعض مواطن الضعف، وخاصة ما يتعلق بالإشعاع الكونى. فدعنا ندرس هذا الإشعاع الكونى بمزيد من التفصيل. وتنشأ المشكلة من انتظام درجة حرارته لأن النموذج يتنبأ بأن حد الأفق يتزايد "أسرع" من المسافة بين نقطتين فى المكان.

وقد لا يكون افتراضنا بأن حد الأفق يتزايد أسرع من تمدد المكان صحيح على طول الخط فيما يخص الكون المبكر جدا. فمن المحتمل تماماً أن المكان نفسه قد تمدد أسرع من الأفق خلال فترة زمنية قصيرة قبل انفصال الإشعاع عن المادة. افترض مؤقتًا أن هذا ما حدث فعلاً، فما تأثير ذلك على ما توصلنا إليه بخصوص الإشعاع الكونى؟

يمكننا أن نبدأ بمنطقة من الكون كانت أصغر بكثير من الأفق. من المحتمل أن عمليات فيزيائية قد حدثت فى هذه المنطقة للتوصل إلى اتزان حرارى، وأنه أمكن القضاء، من حيث المبدأ، على أى اختلافات فى درجة الحرارة التى كانت موجودة حينئذ. فإذا نمت هذه المنطقة بمعدل أسرع من الأفق فإنها ستتجاوزه فى نهاية الأمر.

وقد تناظر النتيجة النهائية ما هو موضح فى الشكل ٨ -٣ "ج" عندما حددنا حدود المنطقة الأولية بالخطين "أ" و"ب". وفى هذه الحالة ليس هناك شىء متميز فى أن

يكون ل "أ" و"ب" نفس درجة الحرارة، حيث أنهما كانا فى الأصل على درجة من الاقتراب من بعضهما تتيح للطاقة أن تتوزع حتى بينهما. ويمكن أن يكون للفوتونات فى هاتين النقطتين نفس درجة الحرارة بدون بروز أية مشكلة.

وباختصار، يمكن تفسير انتظام الإشعاع الكونى إذا كان المكان قد تمدد أسرع من الأفق عبر فترة زمنية محدودة خلال الانفجار العظيم. لكن يبدو أن فى هذه الفكرة مشكلة ما. فنحن نعرف أن الأفق ينمو بسرعة الضوء، فإذا نما المكان أسرع من الأفق، فإنه يحتاج لأن يتمدد بسرعات **أكبر** من سرعة الضوء. وليس من المفترض أن يستطيع أى شيء الانتقال بسرعة أعلى من سرعة الضوء، ويبدو أن هذا التمدد السريع يتناقض مع هذا المبدأ.

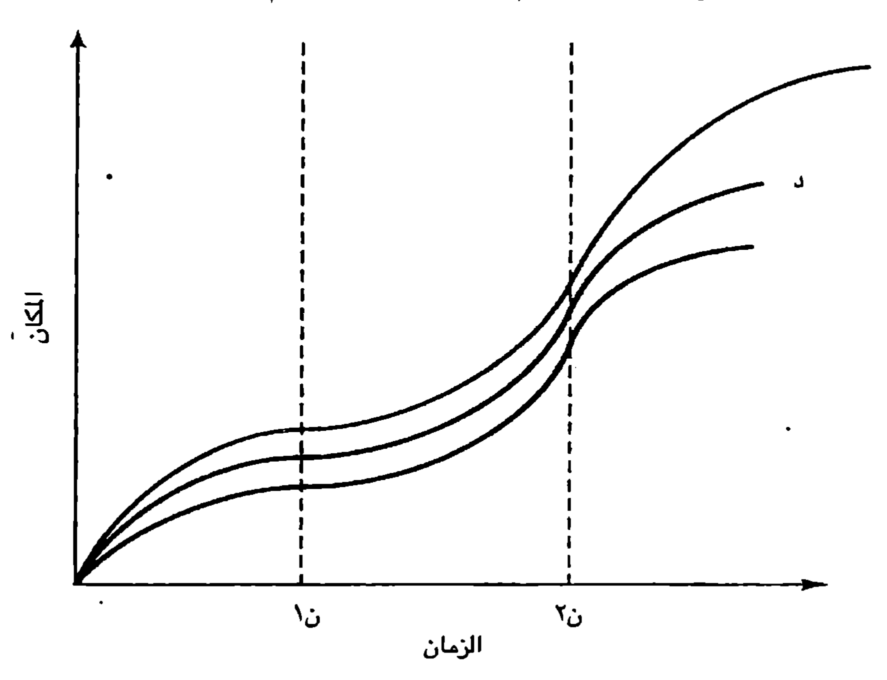
كيف يمكن حل هذا التناقض؟ أهم ما فى الموضوع أن نظرية أينشتاين تقول فعلاً أنه لا يمكن لأى شكل من المادة أو الإشعاع أن ينتقل بسرعة أعلى من سرعة الضوء **خلال المكان**. لكن نظريته لا تذكر شيئًا عن السرعة عندما يتمدد المكان نفسه. وسرعة تمدد المكان محددة فقط بكمية الطاقة المتاحة لجعل التمدد يحدث. وليس هناك تناقض طالما كانت المادة تنتقل عبر هذا المكان المتمدد بسرعات أقل من سرعة الضوء.

وقد يؤدى التمدد السريع للمكان إلى زيادة ضخمة فى حجم الكون فى زمن بالغ الصغر. ونقول هنا أن الكون أصبح "متضخمًا". وبناء على ذلك يُشار إلى هذا التمدد بأنه **تضخم كونى**. وسوف نناقش باختصار كيف حدث التضخم فى الكون المبكر جدا. وعلى أى حال دعنا، قبل أن نفعل ذلك، نرى إن كان التضخم قادرًا أيضًا على تفسير سبب أن كوننا الحالى قريب جدا من المنحنى "د" فى الشكل ٨ – ١.

لقد تمدد الكون أثناء التضخم بمعدل أسرع من التمدد المصاحب للانفجار العظيم. ويجب تعديل الشكل ٨ – ١ عند تطبيقه على الكون المتضخم. عندئذ يحدث انتقال إلى أعلى لكل المنحنيات فى الشكل، بما فيها المنحنى "د". ونقدم هذا التعديل هنا فى الشكل ٩ – ١، حيث بدأ التضخم عند الزمن ن $_{١}$ وانتهى عند الزمن ن $_{٢}$ .

وأهم ما فى الشكل ٩ – ١ أن المنحنيين العلوى والسفلى تحركا مقتربين من المنحنى "د" أثناء التضخم. ويقتربان أكثر من هذا المنحنى عند أى زمن بعد التضخم مقارنة بما كان سيحدث لهما إذا لم يقع التضخم. وفى الواقع، فإن المنحنى الذى يمثل كوننا **يسلك كما لو كان قريبًا جدا** من المنحنى "د" خلال التضخم، رغم أهمية التأكيد على أنه لا يمس أبدًا المنحنى "د".

وكلما امتد زمن التضخم كلما اقترب المنحنيان من "د". ثم أنهما يبتعدان عنه عند نهاية التضخم ونهاية التمدد النموذجى. وهكذا فإن المنحنى المناظر لكوننا كان سيظل قريبًا جدا من "د" فى العصر الراهن إذا كان قد حدث تضخم كاف.




الشكل ٩ – ١: خلال التضخم يقترب المنحنيان من المنحنى "د" بسرعة كبيرة، بغض النظر عن ما إذا كان أى منهما فوقه أو أسفله. ويقترب المنحنيان أكثر من "د" كلما طال زمن التضخم. ويسلك الكون المتضخم كما لو أن طاقة تمدده متوازنة تقريبًا مع سحب جاذبية المادة. وتبتعد المنحنيات عن "د" بعد التضخم. وإذا حدث تضخم كاف سيظل المنحنيان مقتربان من "د" زمنًا طويلاً بعد نهاية التضخم. وهذه هى حالة كوننا.

ولمزيد من التفصيل نقول إن فترة تمدد تضخمي في الكون المبكر يمكنها أن تفسر سبب اقتراب الكون إلى هذه الدرجة من المنحنى "د" في العصر الراهن وسبب انتظام درجة حرارة الإشعاع الكوني. ومازال علينا أن نتعامل مع السؤال حول أين كانت الاضطرابات بالغة الصغر ضرورية لكي تتكون المجرات. وسوف نرى بعد قليل أن هذه الاضطرابات نتجت بشكل طبيعي خلال التضخم بسبب التأثيرات الكمية. وعلى أي حال، قبل أن ندرس هذه التأثيرات، يجب أن نناقش أولاً سبب تضخم الكون الجديد.

دعنا نعود إلى مثالنا من الفصل السابق حول تصورنا لتمدد الكون على أنه كرة تم قذفها في الهواء. حيث يمثل ارتفاع الكرة عن سطح الأرض حجم الكون. بالمثل يمكننا دراسة معدل تمدد الكون على أنه يناظر مدى سرعة الكرة في اكتساب ارتفاع باستمرار بمجرد إطلاقها.

يتحدد معدل تمدد الكون عند وقت ما بعد الانفجار العظيم بالشروط الأولية، تمامًا كما هو وضع الكرة وهي تواصل الحركة إلى أعلى والذي يتحدد فقط بكمية الطاقة الحركية التي اكتسبتها بواسطة الرامي عندما قذفها في الهواء. وبمرور الوقت تفقد الكرة الطاقة الحركية وتتباطأ حركتها تدريجيا، أي أن الكرة **تتباطأ**، ويحدث ما يشبه ذلك بالنسبة لنموذج الانفجار العظيم الملتهب النموذجي. ويتباطأ تمدد الكون إلى حد بعيد مع مرور الزمن لأن كثافة طاقة المادة تتناقص بسرعة كبيرة مع زيادة الحجم. وهذا التناقص أمر متوقع حيث أن كثافة المادة هي ناتج قسمة طاقة المادة على الحجم.

بذلك فإن الشرط الضروري لأن يحدث التضخم هو ألا تتناقص كثافة المادة بسرعة كبيرة. وبناء على ذلك دعنا نفترض مؤقتًا أن كثافة مادة الكون ظلت **ثابتة** تقريباً في وقت مبكر جدا في تاريخ الكون. فما الذي يتغير في تصورنا الذي قدّمناه في الفصل السابع .

إذا كان على كثافة الطاقة أن تظل ثابتة، فإن الطاقة المسببة للتمدد يجب أن تزداد فى تناسب مباشر (طردى) مع حجم الكون. ويبدو هنا أننا نواجه مشكلة ما. إن مبدأ حفظ الطاقة يتضمن أنه يستحيل الحصول عليها من العدم. وحيث أن الكون معزول لن يمكننا الحصول على طاقة إضافية من خارجه. ولابد أن تأتى من الكون نفسه. فما هو مصدر الطاقة الإضافية التى نحتاجها؟

لقد رأينا فى الفصل الخامس كيف أن بعض أشكال الطاقة قد تكون سالبة، والطاقة المصاحبة لقوة الجاذبية تعتبر من هذا النوع من الطاقة السالبة. وأهم ما فى الموضوع أن الطاقة الموجبة الناتجة عن التمدد التضخمى تتوازن تمامًا بإنتاج كمية مساوية لها من طاقة الجاذبية السالبة.

من هنا تظل الطاقة الكلية فى الكون ثابتة، تبعًا لقانون حفظ الطاقة. وبطريقة ما فإن الطاقتين الموجبة والسالبة ينشآن من الفراغ. ولا يوجد تخليق معين للطاقة فى هذه العملية، والطاقة السابقة هى نفسها الطاقة التالية.

ونعلم أن الكون ليس فى حالة تضخم فى الوقت الراهن، لأن التمدد الذى يتم رصده للمجرات بطئ إلى أقصى درجة. ولابد أن يصل التمدد التضخمى فى نهاية الأمر إلى نهايته. ولابد أن ذلك قد حدث عندما تحولت كثافة الطاقة المتسببة فى التمدد التضخمى إلى طاقة مصاحبة لكتل وحركة الجسيمات المعتادة.

فمتى حدث التضخم؟ لقد حددنا سابقًا عددًا من العصور التى صاحبت الانفجار العظيم. ولقد تحددت هذه العصور بنوع المادة التى كانت موجودة فى الكون وبالقوى المختلفة التى كانت مؤثرة. ورأينا كيف انتهى كل عصر بسرعة بالغة بمجرد هبوط درجة حرارة الكون المتمدد تحت قيمة حرجة ما.

ومن المحتمل أن تضخم الكون كان مصاحبًا لأحد هذه التحولات. ولقد تمت صياغة هذه الفكرة فى ١٩٨١ بواسطة عالم فيزياء الجسيمات الأمريكى ألان جوث. ولقد بحث جوث فى النظريات الموحدة الكبرى وطبق معارفه فى فيزياء الجسيمات على

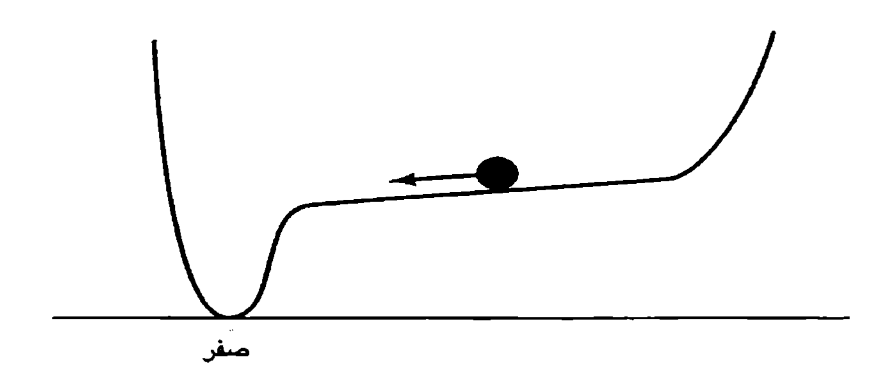
الكون فى مجمله. ولقد بدأ بحثه بما قد يكون حدث عندما انقسمت القوة الموحدة الكبرى إلى القوة الشديدة والقوة الكهروضعيفة.

وتوصل جوت إلى أنه من المحتمل أن شروط الكون فى ذلك الزمن قد سمحت بحدوث التضخم بالطريقة التى قدّمناها سابقًا. وفى السيناريو الأصلى لجوت بدأ التضخم عندما كان عمر الكون $١٠^{-٣٥}$ ثوانٍ وانتهى عندما كان عمره $١٠^{-٣٣}$ ثوانٍ تقريبًا. لقد استغرقت العملية كلها جزء من الثانية لكى تكتمل. وخلال هذا الزمن تضاعف الكون تماما خلال $١٠^{-٣٤}$ ثوانٍ. ولقد كان حجمه أصغر بمقدار ترليون مرة من حجم البروتون عندما بدأ التضخم، لكنه تضخم إلى نحو ٣٠ سنتيمترًا مع وقت انتهاء التضخم.

وللأسف لم ينجح السيناريو الأصلى لجوت لأنه نتج عنه كون غير متجانس. ولم يتسق ذلك مع نتائج رصد إشعاع الخلفية الكونى الميكروويفى. وظهرت سمات عدم التجانس من أن التمدد التضخمى كان مصاحبًا لطور تغيّر فى الكون المبكر.

وبعد عامين ، فى ١٩٨٣ توصل عالم الكونيات وفيزياء الجسيمات الروسى أندريه ليند إلى أن التضخم يعتبر سمة عامة فى كثير من نظريات فيزياء الجسيمات. وأوضح ليند بشكل خاص أنه لم تكن هناك حاجة إلى أن يحدث طور تغير خلال التضخم، ويضاف إلى ذلك من وجهة نظره أنه لم تكن هناك حاجة لأن تكون درجة حرارة الكون فى بداية التضخم عالية.

ويمثل هذا التطور انحرافًا كبيرًا عن التصور النموذجى للانفجار العظيم الملتهب. وأطلق ليند على نوع التضخم الذى قدّمه **السيناريو المشوش**. وكان افتراضه الأساسى ضرورة أن ندخل فى اعتبارنا كل الشروط الأولية المحتملة فى كون ما قبل التضخم وأن نتوصل إلى الشروط التى صاحبت ظهور التضخم. وحيث إن تمدد الكون كان بالغ السرعة خلال التضخم، فما أسرع ما هيمنت تلك المناطق التى تضخمت على حجم الكون.




شكل ٩ - ٢ يتم توضيح كثافة طاقة الكون أثناء التضخم كطاقة وضع تصاحب كرة تتدحرج ببطىء إلى أسفل تل. ويحدث التضخم عندما تكون الكرة فى نقطة السهل المرتفع. وينتهى عندما تسقط إلى أسفل فى الوادى نحو النقطة صفر.

ولقد جاءت الأغلبية الساحقة من نماذج التضخم الجديرة بالاعتبار التى ظهرت منذ الإنجاز الباهر للبند تحت هذه المظلة العامة للتضخم المشوش. وسوف نناقش العمليات الفيزيائية التى حدثت أثناء التضخم المشوش فيما تبقى من هذا الفصل وندرس مزيداً من نتائج السيناريو فى الفصل العاشر .

افترض التناظر التالى. التل الموضح فى الشكل ٩ - ٢ له عدد من السمات المهمة. هناك وادى فى القاع، كما يُشار إليه بالنقطة صفر. ويقع سهل مرتفع على يمين النقطة صفر وينتهى عند وصوله إلى جرف شديد الانحدار. ويميل هذا السهل قليلاً على الاتجاه الأفقى.

إذا كان علينا أن نحافظ على الكرة مستقرة فى موقع ما من السهل، سوف يكون لها كمية محددة من طاقة الوضع. ويتم تحديد هذه الطاقة بارتفاع الكرة عن النقطة صفر. فإذا أطلقنا هذه الكرة عندئذ فإنها ستبدأ فى التدحرج ببطء إلى أسفل التل نحو الوادى. وتتحول طاقة الوضع لديها إلى طاقة حركة خلال هذه العملية. وتصل الكرة فى نهاية الأمر إلى حافة السهل ثم تسقط بسرعة فى قاع الوادى. بذلك تتحول طاقة وضعها الباقية بسرعة إلى طاقة حركة.

وتكمن الفكرة الأساسية فى أن طاقة وضع الكرة تمثل كثافة طاقة فى الكون. وعندما تكون الكرة على السهل، تظل طاقة الوضع لديها ثابتة تقريبًا، رغم أنها تنخفض قليلاً كلما تدحرجت الكرة ببطء نحو الوادى. وهكذا فإن كثافة طاقة الكون تظل ثابتة تقريباً ويمثلها طور حركة الكرة، وهذا ما يؤدى إلى التضخم.

وينتهى التضخم عندما تصل الكرة إلى حافة السهل وتندفع إلى أسفل نحو نقطة الصفر. ويمثل تحول طاقة وضع الكرة إلى طاقة حركية تحول كثافة طاقة الكون إلى جسيمات. وتم إطلاق كمية ضخمة من الطاقة فى هذه العلمية، وكانت الجسيمات المتخلقة حديثًا نشيطة جدا.

وعند هذه النقطة كان الكون بالغ السخونة. ولابد أن درجة حرارته قد تخطت تلك المصاحبة لطور التحول الكهروضعيف ، وقد يكون أقل بقليل من درجة حرارة التحول المشار إليه فى النظرية الموحدة الكبرى. وبذلك فإن الشروط التى كانت موجودة فى الكون فور انتهاء التضخم قد تماثل تلك الخاصة بالانفجار العظيم الملتهب. ويمكن وصف تاريخ الكون منذ ذلك الزمن وما تلاه بما يتلاءم مع نموذج الانفجار العظيم.

ولا يعتبر التصور الذى قدمناه توا عن التضخم كاملاً لأنه لم يُدخل فى حسبانه التقلبات الكمية quantum fluctuations . وكما وضحنا فى الفصل الخامس ، تظهر سمات عدم يقين أساسية فى **كل** العمليات الفيزيائية، لكن هذه السمات لا تصبح مهمة إلا على المقاييس الصغيرة جدا. وحيث أن التضخم حدث فى زمن مبكر جدا، فلابد أن الكون كان بالغ الصغر إذا قارناه بحجمه الراهن. ولنا أن نتوقع أن التقلبات الكمية قد لعبت حينئذ دوراً مهما.

ومن أحد نتائج هذه التقلبات الكمية أن طاقة وموقع الجسيم لا يمكن قياسهما بدقة. ويتم تطبيق نفس هذه القاعدة على الكرة عندما تكون متحركة عبر السهل فى الشكل ٩ – ٢ .

ويمكننا أن نفهم كيفية تعديل العملية التضخمية ببحث ما يؤثر على حركة هذه الكرة.

افترض أن هذه الكرة تماثل الجسيم الأولى النموذجى. ففى هذه الحالة تكون سمات عدم اليقين فى طاقة وسرعة الكرة مهمة. وتؤثر هذه السمات على حركة الكرة بمقدار صغير جدا خلال حركة الكرة عبر السهل. ويكون تأثيرها فى اتجاهات عشوائية، وتكون الكرة أحياناً مدفوعة قليلاً إلى الحافة. وفى أحوال أخرى، تتوجه إلى أسفل تبعًا للتقلبات. وسوف يكون موضع الكرة على السهل غير مؤكد إلى حد ما. والنتيجة النهائية أن الكرة قد تتحرك نحو الوادى بمعدل سرعة أكبر أو أصغر مما تصورناه سابقًا.

فماذا يعنى هذا بالنسبة للكون المتضخم؟ كما رأينا فإن التضخم يحدث عندما تكون الكرة على السهل، وينتهى عندما تسقط من الحافة وتندفع إلى أسفل نحو الوادى. فإذا كانت الكرة على ارتفاع قليل على السهل، سوف تصل إلى الوادى بعد وقت **متأخر** عما نتوقع. أى أن التضخم سيستمر زمنًا أطول قليلاً. وبالعكس فإن التضخم سوف ينتهى فوراً إذا دفعت التقلبات الكمية الكرة إلى أسفل. وباختصار، فإن التأثير الكلى للتقلبات الكمية أنها تسبب انتهاء التضخم **فى أوقات مختلفة فى مناطق مختلفة من الكون.**

ولهذا الاختلاف فى الزمن نتائج مهمة. فإنه يعنى أن مناطق مختلفة فى الكون تتضخم بمقادير مختلفة. ومن ثم فإن كثافة المادة سوف تختلف فى الكون بعد التضخم. فبعض المناطق سوف تكون أكثر كثافة من غيرها. وتعتبر التقلبات الكمية التى تؤثر على الكرة ضعيفة جدا، لذلك فإن الاختلافات فى الكثافة سوف تكون صغيرة. ومع ذلك فإنها تلعب دوراً مهما خلال التطور اللاحق للكون. وفى الواقع، يمكنها أن تؤدى إلى تكوين مجرات.

وكانت مشكلة سيناريو تكوين المجرات الذى ناقشناه فى الفصل السابع أن التقلبات المتوقعة كانت صغيرة جدا فى نموذج الانفجار العظيم النموذجى. ومن المدهش أن التقلبات الكمية التى نتجت خلال التضخم يمكنها إنتاج شذوذات من الحجم المطلوب.

وهذه سمة للتضخم جديرة بالاعتبار، حيث تقول بأن التكوينات الضخمة الموجودة حاليًا قد تكون ناجمة عن عمليات حدثت على مقاييس أصغر عندما كان عمر الكون مجرد جزء من ثانية. من هنا يمكن اختبار فكرة التضخم تجريبيا. ومن حيث المبدأ سوف نستخدم النظرية للتنبؤ بشكل الكون إذا كانت المجرات قد نتجت عن هذه التقلبات الكمية. ثم نقارن هذا التنبؤ بنتائج الرصد. فإذا كانت فكرة التضخم صحيحة لابد أن تتفق النظرية مع الرصد عند مستوى معين. وبناء على ذلك سوف نناقش أحد نتائج الرصد البالغ الأهمية الذى يمكن من خلالها اختبار هذه الفكرة.

لابد أن الشذوذات فى كثافة الكون بعد التضخم قد أثرت على درجة حرارته. فالمناطق الأكثر كثافة فى الكون لابد أنها كانت فى درجة حرارة أكثر ارتفاعًا ولو بمقدار صغير مقارنة بالمناطق الأقل كثافة. واستمرت هذه الاختلافات فى درجة الحرارة بين المناطق الأكثر كثافة والأقل كثافة مع تمدد الكون. وكانت لا تزال موجودة عندما توقفت المادة والإشعاع عن التفاعل المباشر فيما بينهما فى بداية عصر المادة. ولابد أن الإشعاع الكونى من المناطق الأكثر كثافة كان له درجة حرارة مرتفعة بعض الشىء عن المتوسط فى ذلك الزمن. وبالعكس كان الإشعاع من المناطق الأقل كثافة أكثر برودة ولو قليلاً.

وكما أكدنا فيما سبق ظل هذا الإشعاع من الناحية الأساسية مستقرا منذ نهاية الانفجار العظيم. ولم يتغير سوى طول موجته، لأن الكون استمر فى التمدد. ويجب أن تكون الاختلافات فى درجة الحرارة مازالت موجودة فى الوقت الراهن فى إشعاع الخلفية الكونى الميكروويفى. أى أن الإشعاع القادم من جزء ما من الكون لابد أن تكون درجة حرارته مختلفة قليلاً عن الإشعاع القادم من جزء آخر.

وهذه الشذوذات فى درجة الحرارة أو "التموجات" بالغة الصغر، مما يجعل رصدها أمر بالغ الصعوبة. وفى الأساس تتغير درجة الحرارة بأقل من واحد من الألف فى المائة عندما نرصدها فى اتجاهات مختلفة. ويبدو الأمر على الأرجح كما لو كنا ننظر إلى حائط ضخم من الآجر من مسافة بعيدة جدا. عندئذ يبدو الحائط أملس تماماً

للعين المجردة. وتكون الأحجار الصغيرة جدا التى تصنع البناء الكامل بالغة الصغر بحيث لا يمكن ملاحظتها. ولا نستطيع رؤيتها إلا بمنظار قوى.

وحتى وقت قريب كان علماء الكونيات أقرب ما يكونون للمشاهدين الذين تنقصهم هذه المناظير. كان فى استطاعتهم رؤية الحائط - أى الإشعاع الكونى - لكن كانت تنقصهم التقنية الضرورية لرؤية اللبنات المفردة. كانوا يعرفون أنه لابد من وجود التموجات فى الإشعاع الكونى إذا كانت المجرات قد تشكلت بالطريقة التى أوضحناها فى الفصل السابع، ولقد صمم الباحثون كثيراً من التجارب فى محاولة لرصد هذه التموجات.

ورغم الجهود الكثيرة التى بذلها علماء الكونيات فقد عجزوا عن رصد الشذوذات خلال السبعينيات والثمانينيات. ومع نهاية الثمانينيات كان كثير من هؤلاء العلماء قلقين تجاه نقص النتائج الإيجابية. حقا لقد كان الاعتقاد بصحة تصور الانفجار العظيم مهدداً بالانهيار، وأوشك ذلك على أن يجعل علماء الكونيات يتراجعون. وفى هذا الوقت الحرج بالذات تم إطلاق قمر صناعى للتجارب فى الفضاء. وكان هذا القمر، الذى أُطلق عليه اسم مكتشف الخلفية الكونية COBE، يحمل ثلاث معدات تجريبية مصممة بشكل خاص لاستكشاف طبيعة الإشعاع الكونى.

وكانت إحدى تجارب هذا القمر مكرسة لرصد تقلبات درجات الحرارة التى سبق التنبؤ بها. وفى إبريل ١٩٩٢ تم إعلان اكتشاف هذه التقلبات وأصبحت على رأس أهم الأنباء فى العالم كله. ونجحت التجربة فى قياس اختلاف فى درجة الحرارة فى حدود ثلاثين من مليون درجة. ويرى كثيرون أن هذا الرصد أحد أهم الاكتشافات فى مجال علم الكونيات منذ اكتشاف الإشعاع الكونى نفسه .

ما هى النتائج المتضمنة فى الرصد الذى أنجزه مكتشف الخلفية الكونية؟ قبل ملاحظة التموجات، كان مقياس الزمن المبكر جدا الذى يمكننا استكشافه بشكل تجريبى هو عصر القوة الكهروضعيفة. وكان عمر الكون نحو $١٠^{-١٠}$ ثوان تقريباً عندما

اقتراب هذا العصر من نهايته. من ناحية ثانية لا تتيح لنا معجلات الجسيمات سوى نافذة ضيقة جدا للإطلال على هذا العصر. ولا يمكن استكشاف العصور المبكرة عن هذا الوقت بواسطة التجارب الأرضية. فكلما عدنا إلى الوراء فى الزمن نجد أن الحدث المهم التالى كان نهاية عصر القوة الموحدة الكبرى. وينتمى ذلك إلى زمن أبعد وإلى مقياس طاقة أعلى بدرجة كبيرة ، ومن الواضح أن بناء آلة قادرة على سبر مثل هذا المقياس أمر مستحيل. ويبدو أن قوة التوحيد الأكبر بعيدة تماماً عن أن نصل إليها بتجاربنا.

وقاد رصد مكتشف الخلفية الكونية إلى عكس هذه النتيجة المتشائمة. فلقد رصد هذا القمر الصناعى بشكل مباشر ما كان يبدو عليه الكون فى عصر الانفصال. وأهم ما فى الموضوع أن الشروط التى كانت موجودة فى ذلك العصر كانت تحت تأثير قوى من الشروط التى كانت موجودة فى عصر القوة الموحدة الكبرى. وتتنبأ نظرية التضخم بأن التموجات فى الإشعاع الكونى تعود إلى التقلبات الكمية بالغة الصغر التى ظهرت عندما كان عمر الكون لا يتجاوز ١٠ <sup>−٣٥</sup> ثوانٍ. وتعتمد الطبيعة الدقيقة لهذه التموجات بشكل كبير على العمليات الفيزيائية التى سمحت للتمدد التضخمى بالحدوث. من هنا فإنه بالاستعانة بنتائج رصد علم الكونيات الراهنة قد نستطيع إعادة بناء تصور عن الكون المبكر جدا قبل عصر القوة الكهروضعيفة.

ومن الممكن أن يُتاح لنا اختبار نظرية الأوتار الفائقة بنفس الطريقة أيضاً. وأحد مشاكل نظرية الأوتار الفائقة أنها لا تقدم الكثير من التنبؤات التى يمكن التأكد منها فى المختبر. ورغم أنها فكرة جذابة فإننا لا نملك حتى الآن أى دليل مباشر قابل لمعرفة مدى صحتها .

مثال لذلك، تتنبأ النظرية بأن البنية الداخلية للجسيمات الأولية يجب أن تكون ذات صلة بالموضوع عند مقياس بلانك ( ١٠ <sup>−٣٥</sup> أمتار). وعلى أى حال فإنه من المستبعد إلى درجة كبيرة أن إمكانية إجراء تجربة لسبر هذه المسافة بالغة القصر يُعتبر أمراً مستحيلاً.

فإذا كان التضخم قد حدث بعد عصر بلانك بوقت قصير، فلابد أن التقلبات الكمية التى أنتجت التموجات الكونية قد تحددت بواسطة نظرية الأوتار الفائقة، وفى هذه الحالة ستحتوى التموجات على بعض المعلومات حول هذه النظرية. ومن المحتمل أن هذه التقلبات قد أدت فى النهاية إلى تكوين المجرات ومجموعات المجرات بعد انفصال المادة عن الإشعاع فى نهاية الانفجار العظيم. ولابد أن يعتمد توزيع المجرات فى الكون حالياً أيضاً على التقلبات الكمية بدرجة كبيرة، تلك التقلبات التى ظهرت فى الكون المبكر جدا.

وقد يمكن معرفة البنية ذات المقياس الكبير للكون بواسطة نظرية الأوتار الفائقة فى زمن بلانك. فإذا كان الأمر كذلك، قد نستطيع سبر الأجسام الأصغر الموجودة - الأوتار الفائقة - بفحص الأجسام الأكثر ضخامة فى الكون التى ظلت موجودة مئات الآلاف من السنوات الضوئية. وأخيراً قد يمدنا الكون نفسه بالمختبر الذى نحتاج إليه لاختبار صحة نظرية كل شىء!

ولقد رأينا فى هذا الفصل كيف يتم حل مشاكل النموذج القياسى للانفجار العظيم إذا كان الكون قد شهد فترة من التمدد بالغ السرعة فى ماضيه البعيد. وعرفنا بشكل خاص، أن تكوين المجرات قد يكون نتيجة تقلبات كمية وُجدت فى كثافة المادة. ولقد تأكد علماء الكونيات حالياً من وجود طرق كثيرة متنوعة تؤدى إلى تضخم الكون خلال أول ١٠ ^-٣٥^ ثوانٍ. وفى الفصول التالية سوف ندرس مزيداً من نتائج التمدد التضخمى خلال ذلك العصر.



www.al-maktabeh.com
مكتبة
المهتدين

# الفصل العاشر

## الكون السرمدى

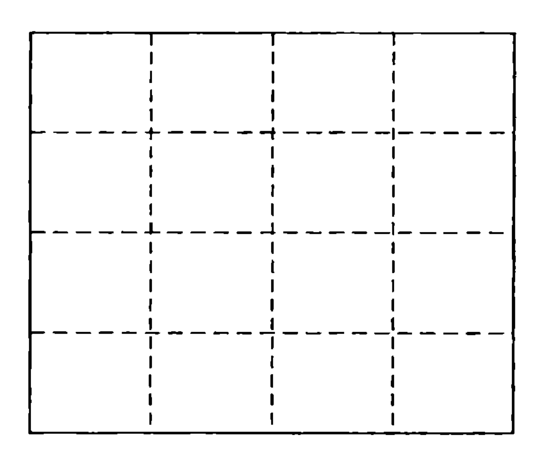
يُعتبر زمن بلانك أبعد زمن يمكن أن نتراجع إليه قبل أن تصبح تأثيرات الجاذبية الكمية ذات شأن. ومن المفترض أن التضخم حدث عندما كان عمر الكون ١٠ $^{-٤٣}$ ثوانٍ فقط. وهذا على وجه الدقة هو العصر الذى تعتبر فيه نظرية الأوتار الفائقة مهمة.

والأكثر أهمية، على الأقل بالنسبة لما يخص بحثنا هذا، أن الأبعاد المكانية للكون كان لها حتمًا نفس الأحجام. ولقد ناقشنا بعض الأدلة النظرية حول سبب توقع وجود أبعاد أكثر فى الفصل السادس، وكان يُنظر إلى وجود هذه الأبعاد الإضافية على أنه يمثل مشكلة. ونعرف حاليًا أن الكون يحتوى على ثلاثة أبعاد كبيرة فقط، فلماذا إذن تظل الأبعاد الأخرى بالغة الصغر بحيث لا يمكن رؤيتها؟ وبكلمات أخرى، لماذا نمت ثلاثة أبعاد فقط إلى الأحجام الكونية؟ وما الذى منع الكون من أن يكون له عدد مختلف من الأبعاد الكبيرة؟

والتضخم، بطبيعته الخاصة، يزيد من حجم الكون بنسبة كبيرة فى زمن بالغ الصغر. من هنا يمكننا أن نتوقع أن يلقى بعض الضوء على السؤال حول سبب أن تكون أبعاد الكون أكبر بكثير من غيرها. وكان من الممكن حل مشكلة الأبعاد الصغيرة لو أن ثلاثة منها فقط استطاعت أن تتضخم إلى أحجام كبيرة.

ونحو مزيد من استكشاف هذا الاحتمال، دعنا نعود هنا إلى مسألة الشروط الأولية للكون فى سيناريو ليند حول التضخم الشواشى. افترض أن التضخم لم يكن قد

حدث عندما كان عمر الكون لا يتجاوز زمن بلانك. ويمثل حد بلانك $10^{-35}$ أمتار، أقصى مسافة يمكن للعمليات الفيزيائية أن تتم فيها عند هذا الزمن. ومن جهة أخرى ليس من الضرورى أن تمثل هذه المسافة الحجم الفعلى للكون، فمن المحتمل أن الكون كان أكبر من حد بلانك. فإذا كان الأمر كذلك، فلابد أنه كان يتكون من تجمع قليل من المناطق التى تصل أبعاد حجمها إلى $10^{-35}$ أمتار. وكانت هذه المناطق معزولة عن بعضها البعض فعلاً، لأن الإشارة الضوئية لم يكن لديها بعد الوقت الكافى للانتقال من منطقة إلى أخرى. من هنا فإن الشروط كانت تختلف من منطقة إلى أخرى بطريقة شواشية. ويوضح الشكل ١٠ – ١ هذا التصور عن الكون قبل التضخم.



الشكل ١٠ – ١ : تمثيل للتضخم الشواشى للكون فى زمن بلانك قبل بدء التضخم. ويمكن تصور الكون على أنه تجميع لمناطق فى أحجام بلانك. وتعتبر الشروط المتوافرة فى هذه المناطق غير مترابطة. فبعض المناطق سوف يتضخم بنسبة أكبر من المناطق الأخرى. ويختلف أيضاً عدد الأبعاد المكانية التى حدث لها تضخم.

ولابد أن الشروط الفيزيائية فى هذه المناطق بالغة الصغر كانت **غير مترابطة**. ومن المتوقع عدم وجود علاقة بين الشروط الموجودة فى منطقة ما والشروط الموجودة فى منطقة أخرى مجاورة. وكانت كثافة الطاقة الابتدائية – التى تتحدد تبعًا لطاقة وضع الكرة فى الشكل ٩ – ٢ – تختلف من منطقة إلى أخرى.

فما تأثير هذه الخاصية على عملية التضخم؟ يرى ليند أن الطبيعة الشواشية للشروط الأولية فى كون ما قبل التضخم كان لها حتمًا نتائج مهمة. وفى المثال الذى أوردناه من قبل، نتوقع أن الكرة كانت موجودة أقرب ما يكون من الجرف فى بعض المناطق مقارنة بالمناطق الأخرى. وتتحدد كمية التضخم الذى يحدث بالزمن الذى تستغرقه الكرة فى التدحرج إلى أسفل السهل المرتفع ثم إلى الوادى. ومن الممكن أن يحدث مزيد من التضخم عندما تكون الكرة أكثر بعدًا على اليمين فوق السهل المرتفع لأنها تأخذ وقتًا أطول للوصول إلى الوادى. وينتج من ذلك أن كل منطقة فى حجم بلانك فى الكون تضخمت بمقدار **مختلف**. فبعض المناطق تزايد إلى حجم ضخم بينما قد لا تكون مناطق أخرى قد شهدت أى تضخم.

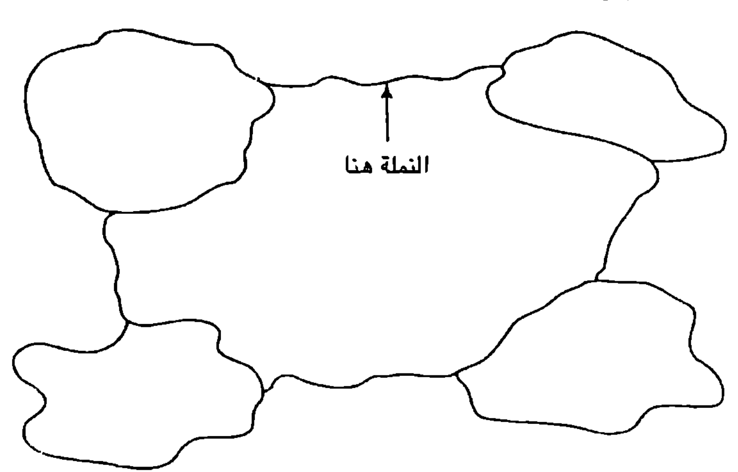
وحيث إن هذه المناطق معزولة عن بعضها، فليس لنا أن نتوقع أن يكون نفس العدد من الأبعاد قد تضخم فى كل حالة. ومن المحتمل أن ثلاثة أبعاد فقط قد نمت فى الحجم فى بعض المناطق وظلت الأخرى ساكنة. وقد يكون البديل أن عددًا مختلفًا من الأبعاد قد تضخم فى مناطق أخرى. وباختصار، لابد أنه قد حدثت كل التجمعات الممكنة من الأبعاد الكبيرة والصغيرة. ويتضمن ذلك عدم وجود أساس للتأكد من أن ثلاثة أبعاد فقط هى التى تضخمت إلى الأحجام الكونية. ولعل الكون كله يتكون من كثير من المناطق مختلفة الأحجام يحتوى كل منها على عدده الخاص من الأبعاد الكبيرة.

وقد يفيد تقديم مثال هنا عن البعدين. دعنا ننظر إلى شكل ١٠ - ١ على أنه سطح مرن. افترض أننا مددنا هذا السطح بطريقة تجعل كل كتلة تتمدد بمقدار مختلف فى الاتجاهات المختلفة. قد يمثل ذلك التمدد التضخمى للكون. وقد تتمدد بعض المربعات أكثر من غيرها وقد تغطى مساحة سطحية أوسع. وقد تتمدد بعض المناطق فى اتجاه واحد وتماثل خطًا رفيعًا. والنتيجة النهائية موضحة فى الشكل ١٠ - ٢ .

افترض أننا وضعنا نملة على أحد هذه الخطوط الرفيعة، فلن يتجاوز إدراك النملة بعدى الطول والعرض الموجودين على السطح المرن. وحيث أن البعد الثانى فى هذه المنطقة من السطح صغير جدًا، لن تلاحظه النملة وسوف تستنتج أن الكون يحتوى على

بعد واحد فقط فى المكان. فإذا تم تمديد السطح بما فيه الكفاية سوف يصبح الخط الذى توجد عليه النملة طويلاً جدا، وقد يطول فى الواقع إلى درجة تجعل النملة عاجزة عن رؤية ما وراءه حيث يمتد السطح إلى بعد ثان .

وتتمثل الفكرة وراء هذا العرض فى أننا نعيش فى منطقة من الكون تشبه تلك التى تعيش فيها النملة، حيث لم يتضخم سوى ثلاثة أبعاد فى المكان، وهذه هى الأبعاد الوحيدة المرئية بالنسبة لنا. والأبعاد الأخرى مختفية بعيداً عن نظرنا لأنها لم تتضخم وظلت بالغة الصغر بحيث لا نرصدها، وكانت المنطقة التى نسكنها إحدى المناطق التى تضخمت بدرجة كبيرة. ولقد تمددت بحيث أصبحت بعيدة تماماً عن مسافة أفقنا الراهن بعشرة مليارات سنة ضوئية. (تذكَّر أن هذه هى أقصى مسافة يمكن للضوء أن ينتقل خلالها منذ نهاية التضخم). ولا يمكننا رؤية المناطق الأخرى التى تحتوى على عدد مختلف من الأبعاد الكبيرة، حيث أنه لا يوجد لدى الضوء ما يكفى من الوقت لكى ينتقل من منطقتنا إلى منطقة أخرى.

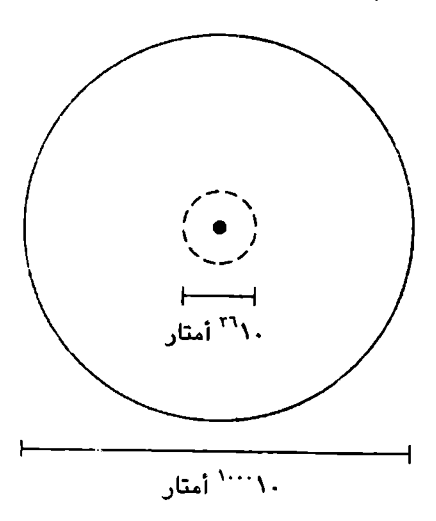



الشكل ١٠ - ٢ : سطح مرن ذو بعدين تم تمديده بمقادير مختلفة فى اتجاهات مختلفة. وهذا يناظر الكون بعد التضخم. فى بعض المناطق سيكون بعد واحد من الأبعاد الموجودة على هذا المسطح هو الذى تضخم. فإذا وُضعت النملة فى هذه المنطقة سوف تستنتج أن كونها خط من بعد واحد. فإذا كانت هذه المنطقة كبيرة جدا ، سوف تكون المناطق الأخرى على السطح وراء أفق النملة ومختفية عن بصرها.

وقد يكون جزء الكون الذى نوجد فيه أكثر ضخامة من منطقة المكان التى نرصدها.

وتناظر مسافة الأفق الحالية البالغة عشرة مليارات سنة ضوئية نحو $١٠^{-٢٦}$ أمتار.

وفى بعض نماذج التضخم قد تمتد منطقتنا إلى مسافة $١٠^{١٠٠٠٠}$ أمتار أخرى حتى تلتقى بمنطقة أخرى لها عدد أبعاد مختلف. وهذا رقم ضخم، إنها عشرة يتلوها عشرة آلاف صفر! ويوضح سيناريو التضخم أن منطقة الكون الذى نرصده تعتبر جزءاً بالغ الصغر من اتساع المكان الذى نوجد فيه فعلاً. فإذا رأينا أن الجزء الذى نرصده من الكون ضخم، فإن نموذج التضخم يتنبأ بأن الكون فى مجمله أكثر ضخامة (انظر الشكل ١٠ – ٣).




الشكل ١٠ – ٣ : الكون الذى يمكن رصده والذى تمثله الدائرة المنقطة، قد يكون مجرد جزء بالغ الصغر من منطقة مكانية أكثر ضخامة. وفى بعض نماذج التضخم قد يمتد هذا المكان إلى $١٠^{١٠٠٠٠}$ أمتار. ولم يتم رسم هذا الشكل تبعًا لمقياس رسم يمثل النسب والتناسب.

وهناك سمة أخرى مهمة للتضخم تتمثل فى أنه قد لا ينتهى بشكل كامل طالما بدأ. أى أن التضخم قد يكون عملية **سرمدية**. وفى عام ١٩٨٦ اكتشف ليند أن التضخم

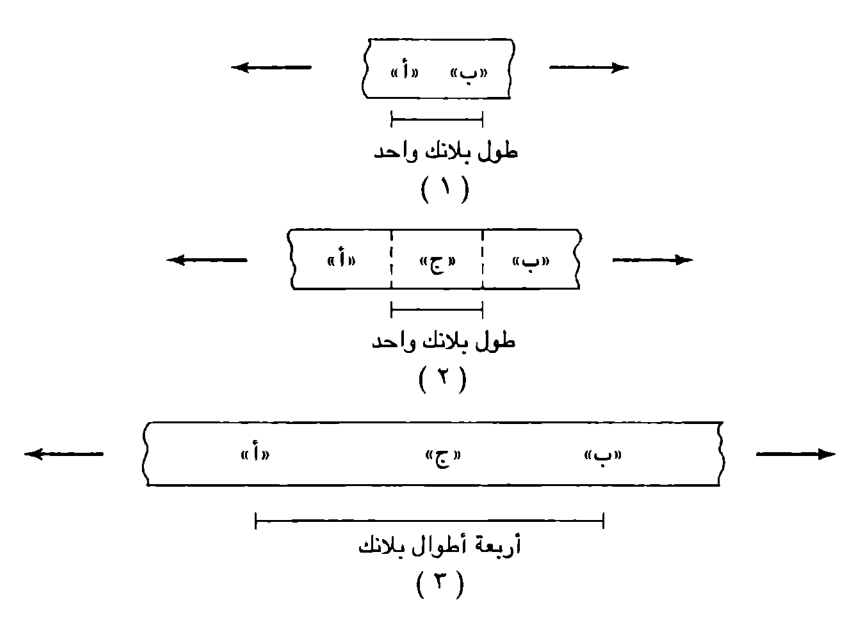
الشواشى قد يمتد إلى مالا نهاية. ويمكننا فهم سبب احتمال حدوث ذلك بأن نضع فى اعتبارنا ما حدث خلال التضخم داخل كل منطقة منفصلة، كما هو موضح فى الشكل ١٠ - ١ . وكما سبق أن رأينا فإن كلا من هذه المناطق له كثافة طاقة معينة عند بداية التضخم وإن هذه الكثافة يمكن تمثيلها بارتفاع الكرة فى الشكل ٩ - ٢. ويحدث التضخم عندما تكون الكرة فوق السهل المرتفع وينتهى عندما تسقط فى الوادى. ويكون التضخم أكثر قوة، بمعنى أن معدل التمدد أكثر ارتفاعًا، عندما تكون الكرة أقرب إلى الجرف.

وتتحدد حركة هذه الكرة عبر السهل المرتفع بعاملين. فالكرة لديها ميل طبيعى للتدحرج إلى أسفل نحو الوادى حيث ينتهى التضخم، ولكن يجب أن نضع فى اعتبارنا الدور الذى تلعبه التقلبات الكمية. وبشكل عام فإن التقلبات الكمية تحدث بمعدل أكبر عندما تكون الكرة أكثر بعداً عن الوادى. فإذا اقتربت الكرة بدرجة كافية من الجرف، فإن هذه التقلبات يمكنها السيطرة على حركة الكرة .

وأهم سمة لهذه التقلبات أنه يمكنها أن تجعل الكرة تتحرك إما إلى أعلى أو إلى أسفل السهل المرتفع. وفى الغالبية العظمى من المناطق تتحرك الكرة إلى أسفل حتى تصل فى النهاية إلى الوادى. ويمكن بذلك تطبيق التصور النموذجى للانفجار العظيم الذى قدّمناه فى الفصل السابع فى هذه المناطق بعد توقف التضخم التمددى. ومن ناحية أخرى هناك عدد قليل من المناطق تناظر حركة الكرة إلى أعلى فعلاً. ولأن هذه المناطق تتمدد بسرعة كبيرة مقارنة بتلك التى تناظر حركة الكرة إلى أسفل، فإنها تحتل حجمًا أكبر بكثير يزداد بلا توقف. ولا ينتهى التضخم فى هذه المناطق.

ومن خلال هذا التصور لا يتوقف التضخم فى **كل** مناطق الكون بعد أن يكون قد بدأ. وهناك بعض المناطق حيث يتواصل حدوث التضخم إلى مالا نهاية، وتكون هذه المناطق محاطة بمناطق أخرى شهدت توقف التضخم، ونحن نقطن فى إحدى هذه المناطق حالياً .

دعنا نرى ما يحدث لإحدى هذه المناطق التى تشهد استمرار التضخم. قد نتصور هذه المنطقة كشريط مرن كما هو موضع فى الشكل ١٠ – ٤ (١). افترض وجود راصدين "أ" و"ب" على هذا الشريط والمسافة بينهما هى طول بلانك. ودعنا نفترض أن التمدد التضخمى جعل الكون يتضاعف مرة فى حجمه مع انقضاء كل فترة فى زمن بلانك. بذلك تتضاعف المسافة الفاصلة بين "أ" و"ب" خلال هذه الفترة الزمنية، كما هو موضح فى الشكل ١٠ – ٤ (٢) .




الشكل ١٠ – ٤ : ١ : نموذج بعد واحد حيث يظهر الكون كقطعة من مادة مرنة ممتدة. فى بداية التضخم يتباعد راصدان، "أ" و"ب"، بمسافة طول بلانك. يرسل "أ" إلى "ب" نبضة ضوئية. ٢: بعد انقضاء زمن بلانك واحد تكون النبضة الضوئية قد قطعت طول بلانك واحد وتوجد الآن فى "ج". ويتضاعف طول الفراغ (المرن) بين الراصدين، فيكون "ب" على بعد طولين بلانك من "أ" ولا يستقبل النبضة الضوئية. ٣ : بعد زمنين بلانك تزداد المسافة النسبية بين النبضة و"ب" إلى طولين بلانك.

دعنا نفترض أيضاً أن "أ" يحاول الاتصال بـ "ب" بإرسال نبضة ضوئية عندما يكون الشاهدان على بعد طول بلانك واحد فقط. تنتقل هذه النبضة بسرعة الضوء لذلك سوف تقطع مسافة طول بلانك واحد بعد مضى زمن بلانك. وتصل إلى النقطة التى كان "ب" يحتلها عندما أرسلها "أ". ونطلق على هذه النقطة "ج" فى الشكل ١٠ - ٤ (٢).

فى ذلك الوقت يكون "ب" قد ابتعد بمقدار طولين بلانك عن "أ". بذلك فإن النبضة الضوئية الصادرة من "أ" لن تصل إلى "ب"، ولن يكون لدى الأخير فكرة عن أن الأول يحاول الاتصال به. ما الذى يحدث بعد زمنين بلانك؟ ستكون النبضة الضوئية قد قطعت طولين بلانك، لكن "ب" سيكون قد ابتعد بمقدار أربعة أطوال بلانك عن "أ"، كما هو موضح فى الشكل ١٠ - ٤ (٣) . وسيكون الفاصل النسبى بين النبضة و"ب" أكبر مما كان عليه بعد مجرد زمن بلانك واحد .

ويبدو الأمر كما لو أن كلب صيد يطارد أرنب برى يجرى بضعف سرعته، فلا يستطيع الكلب أن يجارى سرعة الأرنب، وبذلك ينجو الأرنب. وبالمثل فإن النبضة الضوئية من "أ" لن تصل **أبداً** إلى اللحاق بـ "ب" عندما يكون الكون فى حالة تضخم. وحيث أن الاتصالات لا يمكنها أن تنتقل بسرعة أكبر من سرعة الضوء، فإن "أ" و"ب" ينقطع الاتصال بينهما تماماً. ويعنى هذا أن الراصدين سيصبحان معزولين عن الأحداث التى تقع وراء مسافة معينة. أى أنهما يصبحان محاطين بأفق لا يريان ما يقع خلفه.

ولا يخص هذا العزل النسبى "أ" و"ب" فقط، لكنه ينطبق على **كل** مناطق الكون المتضخم. دعنا الآن نعود إلى الشكل ١٠ - ٤ (٢) مرة أخرى. خلال التضخم تمدد المكان (المرن) بين "أ" و"ب" وتكونت منطقة جديدة بحجم بلانك حول النقطة "ج". وسوف ينعزل الراصد الموجود فى هذه النقطة أيضاً عن الأحداث التى تقع أبعد منه بمقدار طول بلانك واحد. من هنا تظهر منطقة تضخم معزولة جديدة بين "أ" و"ب" بعد زمن بلانك واحد.

ومع مـواصلة تضـخم المنطقـة الأصليـة بين "أ" و"ب" فى الشكل ١٠ – ٤ (١) ، فإنها تنقسـم إلى مزيد ومـزيد من المناطق الصـغيرة المنعزلة. وبعد مـرور زمن بلانك واحد يكون هناك منطقتان منفصلتان، ويرتفع الرقم إلى أربعة بعد زمنين بلانك، وهكذا. أى أن العدد الكلى للمناطق المنفصلة الناشئة عن المنطقة الأصلية يتضاعف مرة مع كل زمن بلانك.

ويتحدد التمدد والسلوك المستقبلى لهذه المناطق الصغيرة بالاتجاه الذى تؤثر فيه التقلبات الكمية على الكرة فى الشكل ٩ – ٢ . وفى المناطق التى تتحرك فيها الكرة إلى أسفل، ينتهى التضخم فى آخر الأمر، كما أوضحنا سابقًا. وفى حالة دفعها إلى أعلى، يستمر التضخم إلى مالا نهاية، فينتج عن ذلك مزيد من المناطق الصغيرة، وهكذا. وهذا أمر مهم لأنه يتضمن أن ظهور مناطق جديدة من المكان المتضخم عملية لا تنتهى.

ويمكن لأبدية التضخم أن تفسر من الناحية الأساسية سبب ظهور الجزء الذى نرصده من الكون بشكله الراهن. وهناك ملحوظة أساسية حول الكون لم نناقشها بعد، وهى حقيقة أن الكون يمكنه دعم الحياة. ورغم أن هذه الملحوظة تبدو واضحة جدا، فإنها مع ذلك تضع قيوداً حادة على بنية الكون.

مثال لذلك، دعنا نعود إلى السؤال حول عدد الأبعاد الكبيرة فى الكون. يتضمن تصور التضخم أن مناطق مختلفة من الكون سيكون لها عدد مختلف من الأبعاد الكبيرة، كما هو موضح فى الشكل ١٠ – ٢ ، ويبقى السؤال حول سبب أن "منطقتنا" فى الكون لها ثلاثة أبعاد كبيرة وليس عدد آخر من الأبعاد.

والإجابة عن هذا السؤال هو أننا لا يمكننا أن نوجد فى منطقة من الكون يوجد فيها عدد آخر من الأبعاد الكبيرة. ويعتمد وجودنا بدرجة كبيرة على حقيقة أننا نوجد على كوكب يدور حول نجم بالطريقة المناسبة تمامًا. ويتطلب وجود الحياة كوكبًا يظل على مسافة معينة من الشمس وهو يكمل مداره كل عام. فلو كانت الأرض أقرب قليلاً أو أبعد كثيراً عن الشمس، ستكون درجة حرارة الكوكب بالغة الارتفاع أو بالغة الانخفاض مما لا يناسب الحياة. وتتضمن نظرية مدارات الكواكب أن مدار الأرض

يمكن أن يكون متزنًا فقط عندما يكون هناك ثلاثة أبعاد للمكان فقط. وفى أى حالة أخرى لن يكون متوازنًا، وما كان لنا أن نستمر فى الحياة عندئذ.

ولا يمكن أن توجد ذرة الهيدروجين إذا كان هناك عدد مختلف من الأبعاد الكبيرة. ويعتبر الهيدروجين عنصرًا مهمًا للماء، والماء أساسى لوجود الحياة. ولم يكن من المحتمل أن نوجد بدون الهيدروجين، لذلك فلابد أن تحتوى منطقتنا فى الكون على ثلاثة أبعاد على وجه الدقة.

ويجب أن نضع فى اعتبارنا أيضًا السؤال حول تكوين عناصر مثل الكربون الذى يعتبر بالغ الأهمية للحياة. ولقد رأينا كيف أن الكربون لم يكن له أن يوجد خلال الانفجار العظيم بسبب الاتزان النسبى لنوى الهليوم. ولابد أنه ظهر فى مراكز النجوم خلال عملية الاندماج النووى. ولقد استغرقت هذه العملية مليارات السنوات لكى تكتمل. وكان لابد للكون القادر على دعم الحياة أن يكون قادرًا على الاستمرار فى الوجود طوال هذا الزمن.

ويضاف إلى ذلك أن النجوم نفسها لم يكن فى قدرتها أن تتشكل إذا لم يكن الكون على قرب كاف من الخط "د" فى الشكل ٨ - ١. ولو أن الكون كان قد تمدد بسرعة كبيرة لكان انخفاض كثافة المادة قد تم بشكل أكثر سرعة. وما كان للمادة فى الكون أن تتجمع مع بعضها على هيئة مجرات ونجوم. وبالمثل فلو كان الكون يقع بعيدًا جدا أسفل الخط "د"، لكان قد عاد إلى الانهيار قبل تركيب الكربون. وفى أىٍّ من الحالتين، لم يكن من المحتمل ظهور الحياة التى نعرفها. ونستنتج بعملية حذف أن الكون يجب أن يكون قريبًا جدا من الخط "د" لو كان على المجرات والنجوم والبشر أن يوجدوا.

ولقد رأينا كيف أن تضخم الكون ينتج كثيرًا من المناطق المختلفة ذات الأحجام المختلفة بأعداد مختلفة من الأبعاد الكبيرة. ووجودنا يقيدنا بالضرورة بمنطقة يوجد فيها ثلاثة أبعاد مكانية كبيرة وحيث تكون الجاذبية والقوى الأخرى فى الطبيعة لها

الخصائص المناسبة تمامًا لكى توجد الحياة. ورغم أن هذه القيود على منطقتنا فى الكون بالغة القوة، فإن الطبيعة السرمدية للتضخم تتضمن أن المنطقة التى تتوافر فيها هذه القيود لابد أن توجد فى نهاية الأمر.

وإذا أردنا أن نلخص ما توصلنا إليه فإننا قد ناقشنا بعض النتائج الإضافية للكون المتضخم فى هذا الفصل. ولقد رأينا كيف أن التضخم يتيح آلية طبيعية لإنتاج أبعاد مكانية كبيرة فى الكون. ويضاف إلى ذلك أنه من الممكن ألا ينتهى التضخم إذا بدأ، أى أنه سيكون هناك دائمًا منطقة من الكون يحدث لها تمدد سريع. وبذلك يكون التضخم عملية سرمدية.

وفى الفصل الأخير من هذا الكتاب سوف ندرس إلى أى مدى كان للكون أصل محدود. وقبل أن نفعل ذلك سوف نتعرف على نوع الأجرام المعروفة باسم "الثقوب السوداء". وقد تكون البنية الداخلية للثقوب السوداء على علاقة وثيقة بميلاد كوكبنا.




al-maktabeh
www.
.com
مكتبة
المهتدين

# الفصل الحادى عشر

# الثقوب السوداء

لاحظ ماذا يحدث عندما تراقب شيئًا محدداً مثل صفحة من هذا الكتاب. ينعكس الضوء، سيان كان مصدره الشمس أو مصباح، بشكل مستمر على الصفحة، ويدخل جزء من هذا الضوء إلى عينيك، حيث ينبه الشبكية فتنتج إشارة تصل إلى المخ عن طريق العصب الضوئى. عندئذ يكشف المخ معنى هذه الإشارة و"يقرأ" الكلمات المطبوعة. وأهم ما فى الموضوع أن الضوء لابد له أن "ينعكس" حتى تستطيع رؤية الكلمات. وفى الواقع، يجب على الضوء أن **يفلت** من سطح الصفحة.

افترض أننا موجودون على سطح نجم، ونطلق، باستخدام مدفع، كرة تنس إلى أعلى. وتتحدد المسافة التى تقطعها الكرة بالسرعة التى اكتسبتها عند إطلاقها. فإذا كانت الكرة قد اكتسبت سرعة كافية، يمكنها أن تفلت تماماً من تأثير النجم. وفى هذه الحالة لن تضطر إلى السقوط على السطح.

ماذا يحدث إذا بدأ النجم فى التقلص؟ تزداد كثافته بالتدريج وتصبح قوة الجاذبية بالقرب من السطح أكثر شدة. وهذا يعنى ضرورة قذف الكرة بسرعة أكبر من الحالة السابقة حتى تستطيع أن تفلت بعيداً. فإذا استمر التقلص بدون توقف سوف يصبح جذب النجم الناتج عن الكثافة والجاذبية بالغ الارتفاع، وفى مرحلة ما من التقلص تعجز الكرة عن الافلات بعيداً عن النجم إلا إذا اكتسبت سرعة أعلى من سرعة الضوء.

وحيث أنه ليس هناك ما يمكنه الانتقال أسرع من الضوء، فلن تستطيع الكرة **أبداً** أن تفلت بمجرد الوصول إلى هذه الحدود. ولابد أن تعود إلى السطح بغض النظر عن سرعة انطلاقها من المدفع.

ونصل إلى نتيجة مماثلة فيما يخص سلوك الضوء الصادر عن سطح النجم. فقبل انهيار النجم يستطيع هذا الضوء أن يتحرر وينتقل إلى الخارج خلال الفضاء. ويمكنه أن يصل إلى راصد على بعد عدة سنوات ضوئية بعيداً عن النجم، على الأقل من ناحية المبدأ، وبذلك يمكن رؤية النجم. ويستحيل أن يفلت الإشعاع أيضًا بمجرد وصول قوة الجاذبية حول النجم إلى شدة كافية. ومن ثم لا يستطيع مزيد من الضوء أن يصل إلى الراصد البعيد، فيختفى النجم تمامًا عن عين الراصد.

وعند هذه المرحلة يُقال أن النجم أصبح **ثقبًا أسود**. ولرؤية النجم بالتالى، كان على الراصد أن يتلقى بعض الضوء من فوق سطح النجم. علاوة على ذلك فإن الضوء الذى يصل إلى السطح سيعجز من الآن فصاعداً عن التغلب على قوة الجاذبية الشديدة المؤثرة، ويعجز عن العودة إلى أعين الراصدين. فلا يمكن بعد ذلك رؤية النجم مباشرة، ويصبح أسود تمامًا. وتعجز أية مادة تقترب تمامًا من النجم عن الإفلات منه لنفس الأسباب. فإذا قذف الراصد جسمًا، مثل كرة التنس، إلى النجم، سوف تنفصل الكرة عن الكون كله. وبالنسبة للراصد يبدو كما لو كانت الكرة قد سقطت فى ثقب كونى.

فإذا كان علينا أن ننظر إلى الثقوب السوداء باعتبارها شيئًا أكثر من مجرد قصة خيال علمى، يجب أن نفهم كيفية ظهورها فى الواقع. وفى الحوار السابق لمسنا احتمال انهيار النجم كثقب أسود. فمن المفيد فى هذه الحالة أن نعيد النظر فيما يحدث لنجم إذا استنفد ذخيرته من الوقود النووى.

ولقد رأينا فى الفصل السابع كيف أن النجم ذى الكتلة الأقل مرة ونصف من كتلة الشمس ينهار فى آخر الأمر إلى قزم أبيض.

والقـزم الأبيـض يعتـبر متـزنًا ضـد مـزيد مـن الانـهيـار لأن قـوة الجـاذبيـة الداخليـة تتـوازن بضـغط خـارجى نـاتج عن الإلكتـرونات. وقـوة الجـاذبيـة فى نجم أكثـر كثافـة لهـا مـا يكفى من القوة للتـغلب على ذلك الضـغط النـاتج عن الإلكترون. ويحـدث لمثل هذا النجم مـزيد من الانهـيـار. وفـى بعض الحـالات يصـبح القلب تحت هـيـمنة النيوترونات. وتسبب الطبيعة الفيرميونية للنيوترونات ضغطًا مماثلاً لضـغط الإلكترونات فى الأقزام البيضاء.

وإذا لم تكن كـتلة النجم بالغـة الارتفـاع، يتـوقف انهـيـار القلب بسـبب ضـغط النيوترونات. ويسـمى الجسم الناتج عن ذلك **النجم النيوترونى**. وللنجم النيوترونى نصف قطر يصل إلى نحو خمسة عشر كيلو مترات ويكون شديد الكثافة.

هل يمكن للجاذبية أن تكون قوية بما يكفى للتغلب على ضـغط النيوترون؟ يمكننا أن نتـوقع أن ذلك أمـر ممكن إذا كـان النجـم بالغ الضـخـامـة. وفى هـذه الحـالة تعـجـز النيوترونات عن منع مزيد من الانهيار. وينـهار ضـغط النيوترون إذا كانت كتلة النجم أكبر عدة مرات من كتلة الشمس. ويسـتمـر مثل هذا النجم فى الانكماش كلما زادت كثافة وقوة الجاذبية. ولن يكون هناك عندئذ ما يمنع الانهيار، ويتحول النجم بسرعة إلى ثقب أسود.

ما الذى نراه إذا كان علينا أن نراقب نجمًا ضخمًا انهار وتحول إلى ثقب أسود؟ تعتمد الإجابة عن هذا السؤال بشكل كبير على المكان الذى كنا فيه وقت الانهيار. فإذا كنا على مسافة بعيدة من النجم، يمكننا أن نلاحظ مجموعة من الأحداث مختلفة تمامًا عن ما يراه شخص كان موجوداً على السطح.

افتـرض أن أسـتـاذةً جـامـعـيـة تريد أن تعـرف المزيد عن النجـم المنـهار. من الحكمـة تمامًا أن تفـكر فى أن البـقـاء على سطـح النجـم مع بداية الانهـيـار أمر يتسم ببـعض الخطورة الشـديدة. وتفـضل أن تبقـى آمنة على مـسـافـة بعـيدة وتشـجع طـالب أبحـاث على البـقـاء على السـطح. ويوافق الطالب فـوراً لأنه تواق جـدا لأن يرضى المشرفة.

ويعد الطالب بأن يظل على اتصال بالمشرفة بإرسال بعض أنواع الموجات الكهرومغناطيسية، التى قد تكون موجات ضوء أو راديو. وعندما تبدأ الإشارات فى الوصول إلى المشرفة تقيس الزمن الذى ينقضى بين وصول قمم الموجات المتتالية.

يسير الأمر على ما يرام فى البداية وتصل القمم على فترات زمنية منتظمة. ومع مرور الوقت يستجمع الانهيار قوته وتصبح كثافة النجم أعلى بكثير مما يجعل الأمر صعبًا بالنسبة للضوء ليفلت من جاذبية سطح النجم. ويجب على الإشعاع الكهرومغناطيسى الذى يرسله الطالب أن يتغلب على المقاومة الإضافية لكى يصل إلى المشرفة، فيفقد الإشعاع طاقة فى هذه العملية. ويؤدى هذا الانخفاض فى طاقة الإشعاع إلى زيادة فى طول الموجة، فتبدأ قمم الموجات فى الوصول إلى المشرفة بتتابع أقل مما كان سابقًا.

ويتسارع الانهيار فى آخر الأمر حتى يعجز المزيد من الإشعاع الكهرومغناطيسى عن الافلات والوصول إلى المشرفة. وتفقد الأستاذة الاتصال بطالبها إلى الأبد. وهذا هو الحد الذى يتحول عنده النجم إلى ثقب أسود.

ما الذى يراه الطالب عندئذ؟ سيواصل إرسال الإشارات خلال فترات زمنية منتظمة ولا يفكر فى أن شيئًا غير عادى قد حدث. ومع استمرار الانهيار لن يشعر الطالب بأى شىء مختلف عندما تحجز جاذبية النجم فى آخر الأمر الضوء الذى يرسله. وبشكل خاص لن يستطيع معرفة أن إشاراته لا تواصل طريقها إلى المشرفة. وبالنسبة للطالب يظل يرسل الإشعاع إلى المشرفة بنفس الانتظام السابق.

ما المصير النهائى للطالب؟ تبعًا لنظرية إنشتاين فإن قوة الجاذبية تكون بالغة الشدة عندما يتم حجز الضوء حتى أنها تتغلب على أى مزيد من مقاومة الانهيار. وتتنبأ النظرية بأن النجم سيواصل الانكماش حتى يختفى تمامًا على هيئة نقطة فريدة ذات

كثافة لا نهائية. ويُشار إلى هذه النقطة بأنها **مفردة**. ومن عدة نواح تشبه هذه المفردة مفردة الانفجار العظيم التى درسناها فى نهاية الفصل الرابع . وتتحطم قوانين الفيزياء التى نعرفها عند هذه النقطة. وباختصار فإن المشهد يكون كئيبًا بالنسبة للطالب الذى قُدر عليه الهلاك بمجرد تحول النجم إلى ثقب أسود.

إلى هنا لم ندرس الثقوب السوداء إلا من الناحية النوعية إلى حد ما. فإذا كان علينا أن نتقدم نحو المزيد من التفاصيل فإننا نحتاج إلى مزيد من الوصف الدقيق. افترض وجود جسيم ضوء - فوتون - على مسافة ما بعيداً عن مفردة الثقب الأسود. ويقل تأثير جاذبية هذه المفردة كلما ابتعدنا عنها. ويستطيع الفوتون الإفلات من تأثير المفردة إذا كان البعد النسبى بينهما كبيرًا بما يكفى. فإذا حدث بدلاً من ذلك أن الفوتون كان فى البداية قريبًا جدا من المفردة سوف يتم جذبه حتمًا إليها بواسطة قوة الجاذبية.

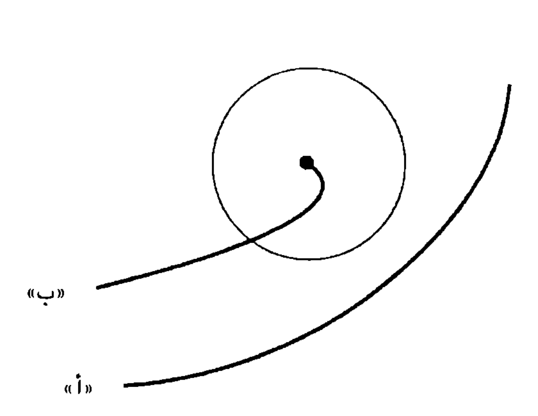
ويشير ذلك إلى وجود حد للمسافة حول المفردة حيث يتم منع الفوتون من الإفلات بالكاد. ويعرف هذا الحد باسم **أفق الحدث**. ويمكننا تصور هذا الأفق على أنه نوع من الفقاقيع تحجب المفردة عن نظر راصد بعيد. فإذا كان الفوتون موجوداً خارج أفق الحدث فإنه يظل قادرًا على الوصول إلى الراصد، وإذا كان موجوداً داخل الأفق فمن المستحيل له أن يخرج منه. وفعلاً فإن الفوتون سيسقط حتمًا فى هذه الحالة فى المفردة ويصبح مفقوداً إلى الأبد بالنسبة للعالم الخارجى.

ومن جانب ما يمكن النظر إلى أفق الحدث على أنه حد الثقب الأسود. وحيث أن الفوتونات الموجودة داخل هذه المنطقة لا يمكنها أن تصل إلى الراصد البعيد، فإن الأحداث التى تقع داخله تختفى عن الناظر إليها من الخارج. ويمكننا تصور الثقب الأسود كما لو كان منطقة من المكان يحيط بها أفق الحدث.

وهذا التصور للثقب الأسود موضح فى الرسم التوضيحى فى الشكل ١١ - ١.








الشكل ١١ - ١ : رسم توضيحي للثقب الأسود. تمثل النقطة السوداء المفردة، التي يحيط بها أفق الحدث الذى تمثله الدائرة. ينحنى مسار الفوتون "أ" بواسطة الثقب الأسود لكنه لا يسقط فيه. يقترب الفوتون "ب" تماماً من الثقب الأسود ويعبر أفق الحدث.

ويتم التعبير عن المفردة وأفق الحدث بواسطة النقطة والدائرة على التوالى. ويناظر داخل الثقب الأسود المنطقة المحاطة بهذه الدائرة. ويُشار إلى مسارى الفوتونين "أ" و"ب" بالمنحنيين الأكثر سمكاً. ويظل الفوتون "أ" مبتعداً نسببا عن الثقب الأسود، ورغم انحناء مساره بسبب سحب جاذبية الثقب الأسود، لا يعبر هذا الفوتون أفق الحدث. وله الحرية فى أن يواصل مساره فى الكون. وليس للفوتون "ب" نفس الحظ، حيث يقدمه الشكل عابراً لأفق الحدث، ثم يجذبه الثقب الأسود فيسقط سريعاً فى المفردة.

وفى الستينيات بدأ الناس يقتنعون باحتمال وجود الثقوب السوداء فى الكون. وحتى ذلك الوقت لم يكن قد اتضح بعد بالنسبة للباحثين أن الكثافات بالغة الضخامة المطلوبة لتكوين الثقب الأسود يمكن التوصل إليها فى الواقع. وتغير الموقف إلى حد ما مع رصد أول نجم نيوترونى فى ١٩٦٧ بواسطة علماء الفلك فى كمبردج فى إنجلترا. والحجم النموذجى للنجم النيوترونى أضخم بنسبة عشرة أضعاف من الثقب الأسود ذو الكتلة المماثلة. وكان هذا الرصد مهما لأنه أوضح أن الأجرام ذات الكثافات بالغة الارتفاع توجد فعلاً فى الكون.

وكـان أول اكتـشـاف يوضـح أن نظـرية أيـنشـتـاين تـسمح بوجـود الثـقـوب السـوداء، قد تم فى عام ١٩١٧ بواسطة عـالم الفلك الألمانى كارل شـوارتزشـيلد. وحدث ذلك بعـد وقـت قـصـيـر من نشـر أينشـتـاين لنظريته العـامة فى النسـبـية. ولم يظهر الارتبـاط الوثيق بين النتـيـجـة التى توصل إليـهـا شـوارتزشـيلد والكون الواقـعـى إلا فى أواخر الستينيات.

وكـان على شـوارتزشـيلد أن يضـع كثيراً من الافـتـراضـات المبسطة للحصـول على النتيـجـة التى توصـل إليـهـا. واعتـبـرت هذه الافتـراضـات غـيـر فيـزيائية وكـانت وجـهـة النظر الشـائعـة أن الثـقـوب السـوداء الواقـعـيـة قـد تكون أكـثـر تـعـقـداً بكثـيـر.

وشـهدت أواخر الستينيات وأوائل السبعينيات عدداً من الاكتشافات النظرية المهمة بواسطة الباحثين غيرت وجهة النظر تلك.

دعنا نعود إلى الأستاذة التى اختفى طالبها على التو فى الثقب الأسود. هل لدى المشرفة أية طريقة لمعرفة أن الطالب قد سقط فى الثقب الأسود؟ وبشكل أكثر عمومية، هل يمكن للمشرفة أن تحصل على أية معلومات حول طبيعة الأمر الذى أدى إلى ظهور الثقب الأسود من الجانب الأساسى؟

وللإجـابة عن هـذا السـؤال تضـمينات بعيدة المدى. ومن السذاجـة أن نظن أن تلك المعلومـات المطلوبة قـد تكون متـاحـة، على الأقـل من ناحـيـة المـبدأ. وقـد يكون من المتوقع أن أفق الحدث يعتمد بطريقة ما على نوع المادة التى انهارت. مثال لذلك، تصـور الفرق بين كـرة قدم عادية وكـرة قدم أمريكية. فالأولى كروية بينما الأخرى على هيـئة مجسم قطع ناقـص، وللأولى درجة تماثل أعلى، حيث يمكننا إدارتها حول أى مـحـور، وتظـل محـتـفـظة بنفس الشكل بالنسبة إلينا، ونقول عنهـا أنها متمـاثلة كـروياً. وليس للكـرة الأمـريكيـة نفـس الوضـع، حـيث يـعـتـمـد مظهرها على زاوية إمساكنا بها.

افتـرض أننا ضغطنا كلا من الكرتين إلى درجة جعلتهما تنهاران حتى أصبحت كل كرة ثقبًا أسود مستقلاً. وحيث أن كل كرة كانت ذات شكل مختلف تمامًا عن الأخرى فى البداية، لنا أن نتوقع أن يكون أفق الحدث المناظر لكل منهما، والناتج عن الثقب الأسود الجديد، مختلفًا بالتالى. من المدهش أن هذا لا يحدث، حيث يكون لكل أفق نفس الشكل. وسوف يكون من المستحيل أن نتعرّف على الثقب الأسود الناتج عن كرة القدم والثقب الآخر الناتج عن الكرة الأمريكية.

ويعود ذلك إلى أن أى جسم ينهار يشع بعضًا من الطاقة على هيئة موجات جاذبية. ويمكن تصور موجات الجاذبية، التى تنتقل بسرعة الضوء، كما لو كانت تموجات فى نسيج المكان - الزمان. وتشبه من نواحىَ كثيرة التموجات التى تحدث على سطح بركة مياه. وتتم تسوية أية شذوذات أولية فى الجسم المنهار ويتم إشعاعها بعيداً عن طريق موجات الجاذبية. وتكون النتيجة أن الحالة النهائية للثقب الأسود تكون متماثلة جدا، بغض النظر عن مدى عدم انتظام المادة عند بداية الانهيار.

وتعتمد الحالة النهائية لأى ثقب أسود متكون من المادة العادية على ثلاث كميات أساسية فقط. فللثقب الأسود كتلة وقد تكون له أيضًا شحنة كهربائية ولف. وتتحدد هذه الكميات بالكتلة والشحنة الكهربائية ولف الجسم الأصلى الذى تشكل منه الثقب الأسود. وليس للثقب الأسود أية سمات أخرى تحدده. وكل الكميات الأخرى، مثل الحجم، تتحدد على وجه الحصر بهذه العوامل الثلاثة.

وهذا أمر بالغ الأهمية لأنه يتضمن أن الثقوب السوداء البسيطة نسبيا، مثل ذلك الذى درسه شوارتزشيلد فى البداية، قد يكون واقعى تمامًا فى نهاية الأمر. ويضاف إلى ذلك أنه عند انهيار جسمين مختلفين لهما نفس الكتلة والشحنة واللف، لا يمكن لراصد خارجى أن يميز بين الثقبين الأسودين الناتجين.

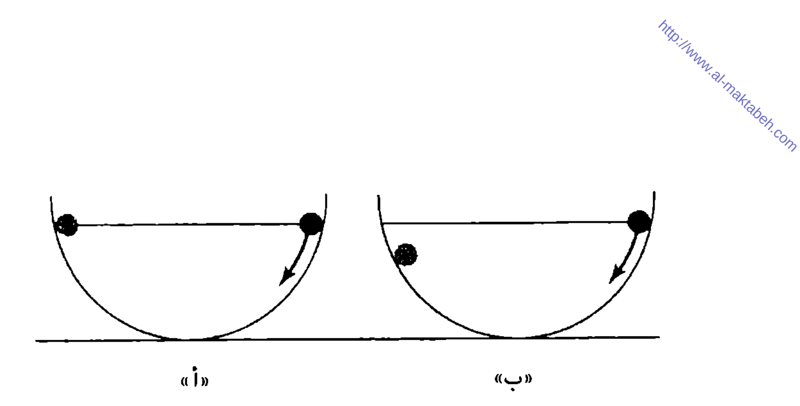
ويمكن تلخيص صفات الثقوب السوداء بأن نقول أن ليس لها "شعر". فلو كان علينا أن نلاحظ شخصين أصلعين، فلن يمكننا استنتاج التسريحة الأصلية لكل منهما. وبغض النظر عن التسريحة الأولية، فإن النتيجة النهائية هى نفسها لدى الشخصين.

وبالمثل فإن الحالة النهائية لثقب أسود هى نفسها بغض النظر عن المظهر الأولى للمادة، بمجرد تحديد الكتلة والشحنة واللف.

ومن الطبيعى أن نسأل فى هذه المرحلة من الحوار حول ما إذا كانت القوانين الأساسية للفيزياء ما زالت قابلة للتطبيق فى هذه البيئة بالغة التطرف بالقرب من الثقب الأسود. وهناك أحد القوانين المهمة يُعرف باسم **القانون الثانى للديناميكا الحرارية**. ويحدد هذا القانون كيف تصبح منظومة معزولة بالتدريج أكثر فأكثر فوضوية بمرور الزمن، ويعطى نتائج مهمة بالنسبة لفهمنا للثقوب السوداء. ولذلك ننعطف قليلاً لندرس مزيداً من نتائج هذا القانون.

يمكننا فهم القاعدة التى يعتمد عليها القانون الثانى للديناميكا الحرارية بأن ندرس أولاً قانوناً آخر أساسيا أكثر سهولة، ذلك هو قانون حفظ الطاقة. ويقول هذا القانون **إن الطاقة الكلية لمنظومة معزولة تظل بدون تغير مع مرور الزمن**. ولقد أشرنا بالفعل إلى قاعدة حفظ الطاقة فى الفصول الأولى من الكتاب، ولكن قد يكون من المفيد أن نتناقش حولها بمزيد من التفاصيل.

فرغم أن كمية الطاقة فى منظومة معزولة يمكن أن تزداد أو تقل، فإن الهيئة الدقيقة للطاقة قد تتغير مع الزمن. ولتوضيح هذه النقطة دعنا ننظر إلى الوادى الموضح فى الشكل ١١ – ٢ أ. إذا كان علينا أن نطلق كرة من وضع السكون فى مكان ما فوق التل، سوف تبدأ فى السقوط تجاه قاع الوادى تحت تأثير قوة الجاذبية. وفى البداية كانت كل الطاقة المصاحبة للكرة مختزنة على هيئة طاقة وضع. ومع تدحرج الكرة أسفل التل، تتعاظم سرعتها، وتتحول طاقة الوضع لديها إلى طاقة حركية.




الشكل ١١ - ٢ " أ" في حالة مثالية، إذا تم إطلاق كرة من السكون فإنها تنحدر حتى تصل إلى المستوى الذى انطلقت منه. "ب" فى الواقع، تعنى تأثيرات الاحتكاك أن أقصى ارتفاع تصل إليه الكرة سيكون أكثر انخفاضاً كلما تدحرجت من جديد صاعدة إلى التل. ورغم حفظ الطاقة خلال العملية كلها، فإن كمية الطاقة المتاحة لحركة الكرة سوف تقل باستمرار.

وإذا لم يكن هناك احتكاك يؤثر على الكرة، سوف تتحول كل طاقة الوضع لديها إلى طاقة حركية عند زمن وصولها إلى قاع الوادى. ثم تدفع هذه الطاقة الحركية الكرة إلى أعلى الجانب الآخر من التل. ثم تتباطأ حركة الكرة مع صعودها المنحدر، مما يجعل طاقتها الحركية تتحول من جديد إلى طاقة وضع. وفى النهاية سوف تتوقف الكرة لحظيًّا عندما تتحول كل طاقتها الحركية. ويتطابق الارتفاع الذى تصل إليه الكرة فى هذه الحالة مع الارتفاع الذى كانت عليه فى بداية إطلاقها.

وتتكرر هذه العملية إلى ما لا نهاية كلما تدحرجت الكرة من جانب من الوادى إلى الجانب الآخر. وتظل الطاقة الكلية للكرة - الناتجة عن جمع طاقتها الحركية وطاقة الوضع - ثابتة، رغم أن نوع الطاقة المصاحبة لها قد تغير من مكان إلى آخر.



وكما هو الحال مع قانون حفظ الطاقة، فإن القانون الثانى للديناميكا الحرارية يرتبط أيضًا بالطاقة، لكنه يتعامل مع ما يمكن أن يحدث بالنسبة لكمية محددة من الطاقة. ويتيح وصفًا أكثر دقة لما يحدث فى الواقع لكرة عند تدحرجها هابطة صاعدة.

ونعرف من خلال الممارسة أن أقصى ارتفاع تصل إليه الكرة بعد كل ذبذبة سوف يقل تدريجيًا حتى تصبح ساكنة فى نهاية الأمر فى قاع الوادى.

وتفقد الكرة طاقتها بسبب مؤثرات خارجية مثل الاحتكاك. وبمرور الوقت تصبح الطاقة المتاحة للكرة لتستطيع الصعود إلى التل أقل فأقل. ويضع القانون الثانى ذلك فى حسبانه. وبشكل أكثر عمومية، فإنه يقرر أن **كمية** الطاقة المتاحة لعمل شغل مفيد تقل حتمًا مع مرور الزمن.

فى المثال السابق تعنى تأثيرات الاحتكاك بسبب مقاومة الهواء وتلامس الكرة مع الأرض، أن طاقة وضع الكرة لا تتحول كلها إلى طاقة حركة. ويُستخدم جزء من طاقة الوضع فى التغلب على قوى الاحتكاك هذه. وترتد جزيئات الهواء باستمرار على الكرة مما يسبب لزوجة. وتكتسب جزيئات الهواء طاقة من الكرة، مما يبطئ حركتها إلى أسفل. وبذلك فقدت الكرة بعضاً من طاقتها الأصلية خلال الوقت الذى انتقلت فيه إلى الجانب الآخر من الوادى، وتفشل فى الوصول إلى نفس الارتفاع الذى وصلت إليه من قبل، كما هو موضح فى الشكل ١١ - ٢ب. ويستمر تحول الطاقة الحركية للكرة وضياعها خلال الدورات المتتالية حتى تفقد الكرة كل طاقة الوضع لديها وتنتقل إلى جزيئات الهواء.

ومن المهم التأكيد على أن الطاقة الكلية للمنظومة - التى تتضمن فى حالتنا هذه الكرة والجو - تظل ثابتة.

وعلى أى حال فإن كمية الطاقة المتاحة للكرة تتلاشى تدريجيًّا: ويمكن قياس هذا الانخفاض فى كمية الطاقة المفيدة بمدى الفوضى فى المنظومة. وتعتبر المنظومة

فى البداية فى حالة نظام مرتفع، لأن كل طاقتها مصاحبة للكرة. والحالة النهائية للمنظومة فى حالة فوضى مرتفعة، لأن طاقتها توزعت بين جزيئات الهواء الكثيرة جدا. ويمكن القول بطريقة مختلفة، أن المنظومة أصبحت بالتدريج أكثر فأكثر **فوضى** بمرور الزمن. ويمكننا فى هذه الحالة القول بأن فقد الطاقة المفيدة يكون مصحوباً بزيادة فى الفوضى.

ويُعبر عن كمية الفوضى فى منظومة ما عادة بكمية تسمى **الإنتروبيا**. وكلما زادت قيمة الإنتروبيا في منظومة ما ارتفعت الفوضى فى هذه المنظومة. وبالعكس كلما زادت حالة النظام انخفضت الإنتروبيا. وبشكل عام، فإن القانون الثانى للديناميكا الحرارية يقول إن **إنتروبيا المنظومة المعزولة تزداد بمرور الزمن**.

وتتيح لنا حكاية الجن المأساوية "هامبتى دامبتى" مثالاً للقانون الثانى فى الديناميكا الحرارية وهو يعمل. عندما يتم إنزال هامبتى فى البئر يكون "متجمعاً" وفى حالة نظام جيد للإنتروبيا، وعندما يسقط يتحطم إلى قطع متعددة ويتضح أنه فى حالة أكثر ميلاً إلى الفوضى مقارنة بحالته السابقة. وبذلك تكون إنتروبيا هامبتى قد ازدادت. وعند تجميعه من جديد يصبح بشكل تلقائى فى حالة أكثر نظاماً وتنقص الإنتروبيا الخاصة به، لكن هذا ما لا يسمح به القانون الثانى.

يمكننا الآن أن نعرف كيف يرتبط القانون الثانى للديناميكا الحرارية بطبيعة الثقوب السوداء. دعنا نبدأ بتصور ما يحدث إذا تم قذف جسم معقد فى ثقب أسود. وتمتص الثقوب السوداء، بطبيعتها، أى جسم يقترب منها اقتراباً شديداً، سيان كان نجماً أو إشعاعاً أو حتى رائد فضاء! وإذا اصطدم ثقبان أسودان سوف يندمجان ويصبحان على هيئة ثقب أسود واحد أكثر ضخامة. وتبعاً لخاصية عدم وجود الشعر التى ناقشناها سابقاً، فإنه لا يتغير سوى كتلة الثقب الأسود أو شحنته أو لفه، إذا سقط أى شىء فيه. ومثال لذلك، حيث أن الكتلة والطاقة متكافئتان، تزداد كتلة الثقب الأسود إذا اكتسب طاقة على هيئة إشعاع مثلاً.



افترض أننا استطعنا أن نُبقى كوبين بالكاد خارج أفق حدث ثقب أسود. للكوبين معًا مقدارًا محددًا من الإنتروبيا. فإذا كسرنا أحدهما، فإن الإنتروبيا الكلية لهما سوف تزداد للأسباب التى ناقشناها توًا. فما الذى يحدث للإنتروبيا إذا قذفنا بقطع الكوب المحطم فى الثقب الأسود؟

تبعًا لخاصية انعدام الشعر، فإن التأثير الوحيد لقطع الكوب المحطم على الثقب الأسود هو أن ترفع كتلته بعض الشىء. ( ونحن نفترض للتبسيط أن قطع الكوب المحطم ليس لها أى مقدار من شحنة كهربائية أو لف ). وسوف تختفى قطع الكوب المحطم عن النظر خلف أفق الحدث، ولن يبقى سوى الكوب السليم بمفرده. وللكوب السليم إنتروبيا أقل بكثير من الكوب المحطم، حيث أن الأخير فى حالة فوضى شديدة. من هنا فإن كمية محددة من الإنتروبيا ستختفى فى الثقب الأسود. وسوف يسجل راصد بعيد **انخفاضًا** فى إنتروبيا الكون، خارج الثقب الأسود، مما يتعارض مع القانون الثانى للديناميكا الحرارية.

ويبدو أن ذلك يشير إلى عدم إمكانية تطبيق القانون الثانى بالقرب من الثقب الأسود. والسؤال الأساسى الذى يجب طرحه هو ما إذا كان يمكن حل هذا التناقض. وبكلمات أخرى، هل هناك بعض السمات المهمة تصدر عن الثقب الأسود يمكن أن تدمج القانون الثانى للديناميكا الحرارية فى تصورنا للثقب الأسود؟ كان هذا هو السؤال الملح الذى طُرح فى بداية السبعينيات، وكان كثير من الباحثين فى قمة الحيرة. واقترح حلا لهذه المشكلة طالب شاب فى جامعة برينستون هو جاكوب بيكينشتين.

وكان اكتشاف سابق لستيفن هوكنج قد ألهم بيكينشتين، حيث كان هوكنج قد فكر فيما يمكن أن يحدث لأفق حدث ثقب أسود عندما يسقط فيه جسم، مثل كوب محطم. ففى الكوب طاقة على هيئة كتلة، لذلك فإن كتلة الثقب الأسود سوف ترتفع. وتتضمن الكتلة الأكبر أن يتم حبس الضوء بواسطة المفردة أكثر من

المعدل الذى كان يحدث سابقًا. وبالتالى فإن أفق حدث الثقب الأسود سوف يقع على مسافة أكثر بعداً من المفردة. وحيث أن حجم الثقب الأسود يتحدد بحجم أفق حدث هذا الثقب، فإن الثقب الأسود سوف يزداد حجمه وكتلته عند قذف الكوب المحطم داخله.

وهذا يعنى أن أفق حدث الثقب الأسود سوف يغطى **مساحة** أكبر من المساحة السابقة، لنفس السبب الذى يجعل مساحة كرة تزداد كلما زاد نصف قطرها. وقد أثبت هوكنج بدقة تامة أن مساحة أفق الحدث **تزداد باستمرار** فى أى عملية فيزيائية تتضمن وجود ثقب أسود.

وسوف نعرض الآن علاقة بين هذه النتيجة والقانون الثانى للديناميكا الحرارية. فكما سبق أن رأينا يتضمن القانون الثانى أن الإنتروبيا (أى كمية الفوضى) لمنظومة ما تزداد باستمرار.

وتبعًا لهوكنج فإن نفس الأمر يحدث لمساحة الثقب الأسود. ومن الطبيعى أن نندهش إذا كانت مساحة أفق الحدث ترتبط مباشرة بإنتروبيا الثقب الأسود.

كانت هذه هى فكرة بيكنشتين، حيث توصل إلى أن حجم أفق الحدث يجب تصوره فعلاً مثل إنتروبيا مصاحبة للثقب الأسود. وفى هذه الحالة، يمكن أن تزداد الإنتروبيا الكلية عندما يسقط كوب محطم فى ثقب أسود، وهو المطلوب إثباته. ولن يتم انتهاك القانون الثانى للديناميكا الحرارية إذا زادت مساحة الثقب الأسود بطريقة تجعل الإنتروبيا الكلية للكوب المتبقى والثقب الأسود أكبر بعد ذلك من جمع إنتروبيا الثقب الأسود على إنتروبيا الكوبين فى حالتهما السابقة.

وهناك مشكلة فى هذه الفكرة للسبب التالى ذكره. تصور ما يحدث إذا تركنا فطيرة تم تجهيزها توًّا وإخراجها من الفرن فى حجرة محكمة ضد تسرب الحرارة. فى البداية تكون درجة حرارة الفطيرة أعلى بكثير من درجة حرارة الأشياء

المحيطة بها. ومع مرور الوقت سوف تبرد الفطيرة حيث تتوزع حرارتها فى أركان الغرفة.

ويتضمن حفظ الطاقة فى هذه الحالة ارتفاع درجة حرارة الغرفة، حيث أن الطاقة الكلية للفطيرة والغرفة يجب أن تظل ثابتة. ويستمر هذا التبادل الحرارى حتى تتساوى درجة حرارة الفطيرة وما يحيط بها. عندئذ يُقال أن الفطيرة والغرفة فى حالة اتزان حرارى.

ما الذى يحدث لمجموع إنتروبيا الفطيرة والحجرة خلال هذه العملية؟ فى البداية تكون المنظومة فى حالة نظام تام، لأن كل الحرارة مركزة فى محتويات الفطيرة. وتكون إنتروبيا الفطيرة وما يحيط بها منخفضة. وكلما بردت الفطيرة تتوزع الحرارة بشكل عشوائى داخل الغرفة، وتصبح المنظومة فى حالة فوضى ضخمة. وتكون الكمية النهائية للإنتروبيا أكبر، كما هو متوقع.

وأهم ما فى مناقشتنا هذه أن زيادة الإنتروبيا يرتبط تمامًا بانتقال الحرارة من الجسم الساخن إلى الجسم البارد. ويتضمن هذا ضرورة ارتباط درجة الحرارة والإنتروبيا بطريقة ما، حيث أن الحرارة ترتبط دائمًا بدرجة الحرارة. وبشكل خاص فإن هذا يتضمن أن الأجسام لابد أن تكون فى درجة حرارة أعلى من الصفر المطلق إذا كان لها إنتروبيا. وتنطبق هذه النتيجة على كل الأجسام، بما فيها الثقوب السوداء. فلابد إذن أن يكون للثقب الأسود درجة حرارة إذا كان له إنتروبيا.

تصور ثقبًا أسود مفردًا له درجة حرارة معينة. فإذا كان هذا الثقب الأسود أكثر سخونة مما يحيط به، فإنه يصدر إشعاعًا. ومع ذلك فإن السمة المميزة للثقب الأسود أنه لا يوجد أى شىء - حتى ولا الإشعاع الكهرومغناطيسى - يمكنه أن يفلت بأية طريقة من سطحه. وينتج عن ذلك أن الثقب الأسود لا يمكن له أبدًا أن يصدر إشعاعًا، ومن هنا تنبع المشكلة.



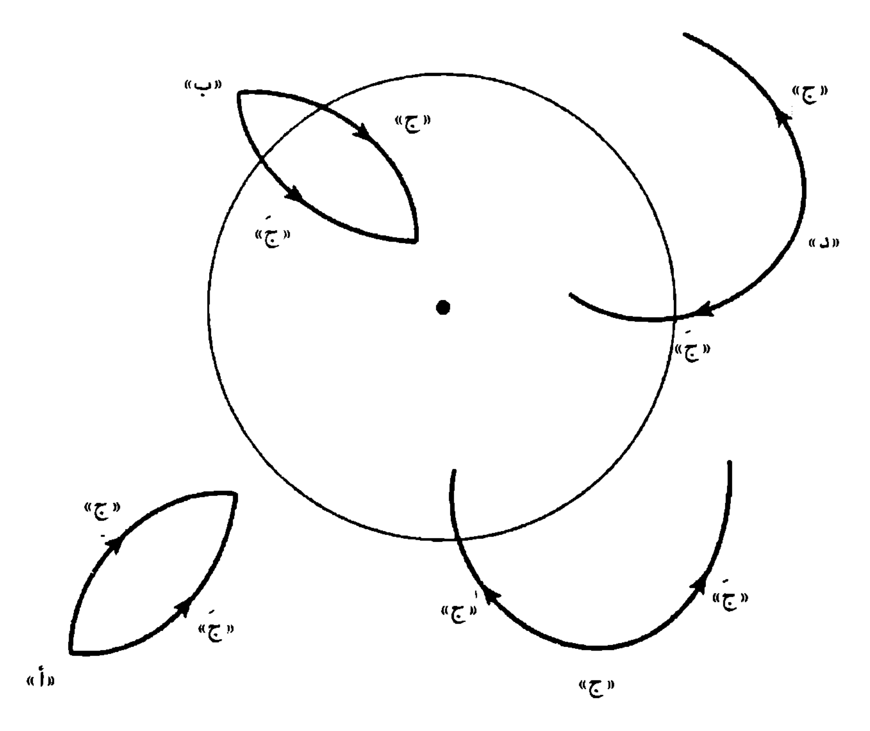
وحل هوكنج هذا التناقض بتفسيره للتقلبات الكمية التى تظهر خارج أفق حدث الثقب الأسود تمامًا. فقد أوضح أن هذه التقلبات تتيح للثقب الأسود أن يبث فعلاً جسيمات وإشعاع.

وسوف نناقش النتيجة التي توصل إليها هونج فيما تبقى من هذا الفصل.

دعنا نبدأ باستعادة مناقشتنا فى الفصل الخامس حول طبيعة الفراغ. عند تجاهل التقلبات الكمية فإن الفراغ، حسب التعريف، لا يحتوى على مادة أو طاقة، أى أنه خال تماماً.

وتغير التقلبات الكمية هذا التصور إلى حد بعيد. حيث لا يمكن قياس طاقة جسيم بدقة أبدًا، وتنطبق هذه القاعدة على كل شيء بما فى ذلك الفراغ. ومن ثم لا يمكننا أبدًا التأكد من أن الفراغ خال تماماً طوال الوقت، لأننا نحتاج فترة محدودة من الوقت لكى نستكمل أى عملية قياس. وليس هناك ما يمنع أزواج الجسيم ونقيض الجسيم من الظهور فجأة إلى الوجود قادمة من الفراغ. وتُعرف هذه الجسيمات بالجسيمات التقديرية، فإنها تبيد بعضها البعض قبل أن نستطيع إجراء أية قياسات. ولا يمكن بأى حال رصدها بشكل مباشر.

وهناك عدم يقين مماثل ينتج عنه أزواج جسيمات وجسيمات نقيضة من المكان الفارغ بالقرب من أفق حدث الثقب الأسود. فما الذى يحدث لهذه الأزواج بمجرد ظهورها؟ هناك أربعة سيناريوهات محتملة، كما هو موضح فى الشكل ١١ – ٣ وظهور الجسيمات التقديرية مرسوم بالخطوط السميكة. ويُشار إلى الجسيمات بالحرف ج والجسيمات المضادة بالرمز ج. وفى الحالة "أ" تدمر الجسيمات بعضها البعض قبل أن يكون لديها وقت للسقوط فى الثقب الأسود. وفى الحالة "ب" يسقط نوعا الجسيمات فى الثقب الأسود فتُباد. وفى الحالتين "ج" و"د" يعبر نوع واحد من الجسيمات أفق الحدث، وفى الحالة الأولى يصبح الجسم حبيس الثقب الأسود، بينما يظل نقيض الجسيم فى الخارج. وفى الحالة الثانية يكون الجسيم هو الحر ويتم حبس نقيض الجسيم.




الشكل ١١ – ٣ : ينتج عن التقلبات الكمية جسيمات وجسيمات نقيضة تقديرية خارج أفق حدث الثقب الأسود.

ولا يتضمن ظهور هذه الجسيمات التقديرية حول الثقب الأسود إنتاج تلقائى للطاقة فى هذه العملية. فأحد الأزواج التقديرية ينتج عن كمية محددة من الطاقة الموجبة، والثانى عن كمية مساوية من الطاقة السالبة. ويؤكد ذلك أن مجموع طاقة الزوج صفر وأنه لا يوجد تغير كلى فى الطاقة.

ولقد رأينا فى الفصل الخامس كيف أن الطاقة المصاحبة لقوة الجاذبية سالبة. وفى الشروط الموجودة بالقرب من سطح الأرض، تهيمن الطاقة الموجبة المصاحبة لكتلة أى جسم على أى طاقة سالبة ناتجة عن الجاذبية. ويعود ذلك إلى أن قوة جاذبية كوكبنا ضعيفة نسبيا. ويظل مجمل طاقة أى جسم موجبة.

وليس هناك ضرورة لأن تكون هذه حالة جسم يتحرك بالقرب من ثقب أسود. حيث تكون قوة الجاذبية حول الثقب الأسود مرتفعة جدا، على درجة من الارتفاع بحيث يلزم بذل كمية كبيرة من الشغل إذا أردنا التحرك بالجسم بعيداً عن أفق الحدث. ويكتسب الجسم كمية ضخمة من الطاقة فى هذه العملية، حتى لو تم تحريكه مسافة صغيرة.

وبالعكس فإن الجسم يفقد كمية كبيرة من الطاقة الموجبة ( أى يكتسب كمية ضخمة من الطاقة السالبة ) إذا تم نقله إلى الداخل، ثم ينتهى داخل الثقب الأسود.

ويظل الجسم يكتسب طاقة سالبة بعد عبوره لأفق الحدث. وفى آخر الأمر، سوف يكتسب طاقة سالبة من الضخامة بحيث تصبح مهيمنة على أى نوع آخر من الطاقة لدى الجسم. وتصبح الطاقة الكلية للجسم سالبة. وينطبق ذلك أيضًا على أى جسيم أولى قد يسقط فى الثقب الأسود. ويمكن للجسيم الحقيقى أن تكون له طاقة سالبة كلية عندما يكون داخل ثقب أسود.

دعنا نعود إلى الشكل ١١ - ٣ . لقد تأكد لهوكنج أن الجسيم التقديرى ذا الطاقة السالبة **يسلك كما لو كان جسيم حقيقى** عندما يسقط فى الثقب الأسود. ويعنى هذا أن زوج الجسيم ونقيض الجسيم لا يحتاجان لأن يبيدا أحدهما الآخر. وفى الحالة "د"، مثلاً، يمكن للجسيم ذو الطاقة الموجبة الذى ظل خارج الثقب الأسود أن يصبح حقيقياً أيضًا. ويمكنه حينئذ أن يتحرك مبتعداً عن أفق الحدث ثم يفلت تماماً فى نهاية الأمر من تأثير الثقب الأسود.

والذى يحدث فى الحالة "د" أن الثقب الأسود يكتسب قليلاً جدا من الطاقة السالبة عندما يسقط فيه جسيم تقديرى. ويتساوى ذلك الكسب لطاقة سالبة فقد طاقة موجبة. وحيث أن الكتلة والطاقة متكافئتان فإن التأثير الكلى أن يفقد الثقب الأسود كتلة فى هذه العملية.

فما الذى يراه راصد خارج أفق الحدث خلال هذه الأحداث؟ عندما يفلت جسيم ذو طاقة موجبة أثناء فقد الثقب الأسود لبعض الكتلة، فقد يبدو الأمر للراصد كما لو أن الثقب الأسود قد "بث" جسيمًا. ويبدو كما لو أن الثقب الأسود قد أشع بعيداً بعضًا من طاقته. وحيث أن للجسم المشع درجة حرارة، فلابد أن يكون للثقب الأسود إنتروبيا فعلاً.

وتتحدد إنتروبيا الثقب الأسود بمساحة أفق الحدث. وتتضمن المساحة الأكبر كمية إنتروبيا أكبر والعكس بالعكس. وترتبط كمية الإنتروبيا بشكل مباشر بكتلة الثقب الأسود، حيث أن الكتلة الأقل تتضمن مساحة أقل، تلك المساحة التى تغطى أفق الحدث. وعندما يبث الثقب الأسود جسيمًا حقيقيًّا، يفقد كتلة، ويتقلص أفق الحدث الخاص به. وعندئذ تنخفض الإنتروبيا الخاصة به. وقد يبدو ذلك مخالفًا للقانون الثانى للديناميكا الحرارية، لكن الأمر ليس كذلك. فرغم انخفاض إنتروبيا الثقب الأسود، إلا أن الإنتروبيا الكلية للثقب الأسود والجسيم الذى تم إشعاعه أكبر من إنتروبيا الثقب الأسود قبل الإشعاع. وبذلك ترتفع الإنتروبيا الكلية.

وإجمال القول أن الثقوب السوداء قد يكون لها إنتروبيا ودرجة حرارة ليست صفرًا لأن التقلبات الكمية المصاحبة للفراغ تؤدى إلى بث مؤثر للجسيمات الحقيقية من الثقب الأسود. ويعتبر ظهور جسيمات تقديرية حول الثقب الأسود عملية مستمرة. ويكتسب الثقب الأسود المزيد والمزيد من الجسيمات ذات الطاقة السالبة ويفقد المزيد من كتلته. ويشار إلى هذه العملية بأنها **تبخر الثقب الأسود**، حيث يبدو الأمر بالنسبة لملاحظ بعيد كما لو كان الثقب الأسود يبخر طاقته بعيداً.

بأى معدل يتبخر الثقب الأسود؟ مع تقلص أفق الحدث، يكتسب الثقب الأسود جسيمات ذات طاقة سالبة بمعدل يزداد باستمرار. وتكون النتيجة أن تبخر الثقب الأسود يصبح أكثر كفاءة مع استمراره. ويؤدى التبخر إلى انخفاض الكتلة، ويؤدى هذا بدوره إلى مزيد من تقلص حجم أفق الحدث. وينتج عن ذلك تبخر أكثر سرعة بكثير ، وهكذا .

وتزداد درجة حرارة الثقب الأسود أيضًا مع فقده لكتلته وتسارع التبخر. وينبع هذا من أن الجسم الأكثر سخونة يشع بمعدل أسرع من الجسم الأكثر برودة.

ويكون التبخر عملية بطيئة نسبيا حتى يفقد الثقب الأسود معظم كتلته. حينئذ يحدث نشاط مضطرب بالقرب من نهاية التبخر. وبالنسبة لراصد بعيد يبدو الثقب الأسود متوازنًا حتى ينفجر فجأة فى انفجار من الإشعاع والجسيمات.

وليس من الواضح فى الوقت الراهن ما قد يحدث للثقب الأسود خلال اللحظات الأخيرة من تبخره. وكان على هوكنج أن يقدم بعض الافتراضات المبسطة عندما أنجز حساباته الأصلية. ومن الناحية الأساسية فإن تحليله له مصداقية حتى تنهار كتلة الثقب الأسود إلى نحو جزء من مائة ألف من الجرام. وبشكل نموذجى يكون الثقب الأسود الذى له هذه الكتلة فى حجم طول بلانك.

وظهرت مدرستان فيما يتعلق بما قد يحدث بمجرد أن يصل الثقب الأسود إلى هذا الحجم. ترى إحداهما أن الثقب الأسود يتبخر تمامًا ويختفى ببساطة. والخيار الثانى أن الثقب الأسود يتوقف عن التبخر عند هذه النقطة ويصبح أثرًا مستقرًا.

ورغم أن لوجهتى النظر ما يدعمهما، لا يوجد حاليًا إجابة مقبولة بشكل عام عن ما إذا كانت إحداهما صحيحة أو حتى كليهما.

ويتحدد عمر ثقب أسود بكتلته عند تشكله. فالثقب الأسود الأكثر ضخامة يكون له عمر افتراضى أطول لأن عملية التبخر تكون أقل كفاءة مقارنة بكفاءة نفس العملية بالنسبة للثقوب السوداء الأصغر. ويكون للثقب الأضخم أيضًا كمية أكبر من الطاقة التى تحتاج إلى التبخر. وفى بداية هذا الفصل رأينا كيف أن النجوم بالغة الضخامة ينتهى بها الأمر إلى أن تنهار إلى ثقوب سوداء. ولهذه الثقوب السوداء كتلة أولية تكون أكبر ثلاث مرات على الأقل من كتلة الشمس. ولأن هذه الكتلة بالغة الضخامة فإن التبخر يكون أكثر كفاءة. وقد يحتاج ثقب أسود بهذا الحجم إلى $١٠^{٦٤}$ سنوات على الأقل لكى يتبخر بكامله. وللمقارنة، فإن العمر الراهن للكون لا يتخطى $١٠^{١٠}$ سنوات .

هل يعنى هذا أن تبخر ثقب أسود قد لا تتم ملاحظته أبدًا؟ إذا حِدث ذلك فإن مثل هذه العملية قد تظل تخمينًا نظريا مثيرًا، لكن لن يكون لها أى تأثير مباشر على الحالة الراهنة للكون. ونحتاج إلى تشكيل ثقوب سوداء ذات كتلة بالغة الانخفاض بحيث يكون من الممكن اكتمال تبخرها فى الوقت الحالى. ويجب أن تكون كتل هذه الثقوب السوداء أقل كثيراً من الكتل النموذجية للنجوم.

كيف يمكن ظهور مثل هذه الثقوب السوداء؟ من المحتمل أنها قد ظهرت فى الانفجار العظيم بالكاد بعد انتهاء التضخم. ولقد رأينا فى الفصل العاشر كيف أن التمدد بالغ السرعة المصاحب للتضخم يتيح لأن تصور تضخم الكون على أنه تجميع لمناطق مصغرة منعزلة. ويحدد بعد الأفق عند ذلك الزمن حجم كل منطقة. ولقد ناقشنا أيضًا كيف أنه كان من المحتم وجود التقلبات الكمية خلال التضخم. ومن المحتمل أن هذه الاضطرابات قد أنتجت اضطرابات فى الكثافة فى الكون التالى للتضخم. وفى عدد قليل من المناطق الصغيرة من المحتمل أن امتداد هذه التقلبات كان قريبًا من امتداد بُعد الأفق. ويؤدى ذلك لأن تنهار هذه المناطق على هيئة ثقوب سوداء صغيرة جدا.

ويطلق على هذه الأجسام **الثقوب السوداء البدائية**، ويمكن أن يكون لها كتل صغيرة تصل عدة جرامات. والنقطة المهمة فى هذا الموضوع أن تلك الثقوب السوداء ذات أعمار قصيرة نسبيًا ويمكن أن تكون قد تبخرت فعلاً فى وقتنا الراهن. والثقوب السوداء التى تكونت خلال الانفجار العظيم بكتلة $١٠^{١٥}$ جرامات يجب أن تكون فى حالة تبخر فى عصرنا الراهن.

وبذلك ينتهى نقاشنا حول خصائص الثقوب السوداء. ولقد ألمحنا باختصار إلى حقيقة أن المفردة داخل الثقب الأسود تشبه تلك المصاحبة للانفجار العظيم. وفى الفصل الأخير سوف نطبق أبعاد ما طرحناه فى هذا الكتاب لاستكشاف المزيد حول هذه العلاقة. ويقودنا ذلك إلى ميلاد الكون.


al-maktabeh
www.
.com
مكتبة
المهتدين

# الفصل الثانى عشر

# ميلاد الكون

كانت رحلتنا ناجحة إلى حد بعيد، حيث تتبعنا تطور الكون من دقائقه الأولى حتى وقتنا الحالى. وتوصلنا إلى تصور بأن الكون فى حالة تمدد دائم من أول نشأته منذ نحو عشرة مليارات سنة مضت. وعرفنا أيضًا أن نظرية النسبية العامة لأينشتاين لا تنطبق على الأزمنة المبكرة تمامًا عندما كان الكون بالغ الصغر. ومقياس الزمن الحرج الذى لا تنطبق عليه هذه النظرية هو زمن بلانك، المناظر ل $10^{-43}$ ثوانٍ، ولا يمكننا استخدام نظرية أينشتاين لمعرفة طبيعة الكون قبل ذلك الزمن.

والسؤال الذى سنطرحه فى هذا الفصل الختامى هو ما إذا كان فى استطاعتنا العودة إلى ما قبل زمن بلانك. هل فى قدرتنا استكمال القصة وعبور هذا الحاجز النهائى، أم أن عدم صلاحية نظرية أينشتاين عند هذه النقطة يمثل حدا أساسيا بالنسبة لفهمنا؟

وإذا كان علينا أن نناقش موضوع أصل الكون، يجب علينا أولاً أن نتوسع فى نظرية أينشتاين بطريقة مناسبة. كيف إذن نُقدم على تحسين هذه النظرية؟ قد يمكننا الإجابة عن هذا السؤال بالاستعانة بالتأثيرات الكمية. ولقد رأينا فى الفصول السابقة كيف أن هذه التأثيرات تصبح ذات قيمة على المقاييس بالغة الصغر. وسبب عدم صلاحية نظرية أينشتاين قبل زمن بلانك أنها تعجز عن أن تضع فى حسبانها التقلبات الكمية الموجودة فى صلب أية عملية فيزيائية تتضمن جاذبية.

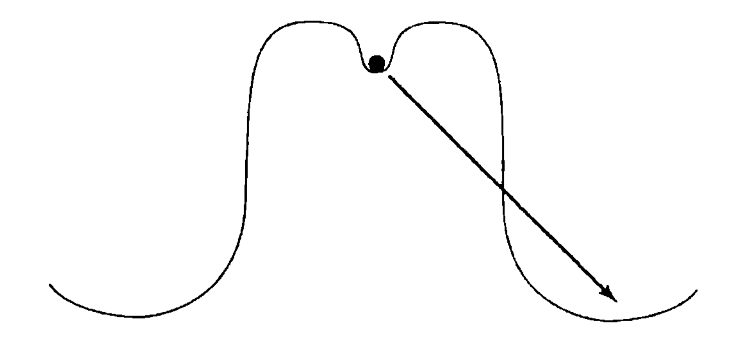
ولا تعتـبر سمـات عدم اليقين هذه مهمة فى المقاييس الكبيرة ويمكن إهمالها. وهذا هـو سبب أن النسبية العامـة تتيـح وصـفًا جيدًا للكـون عـبر مـسافة شاسـعة جداً. وعلـى أى حال، فإن التقـلبات الكمية المصاحبة للجاذبية تهيمن فى زمن بلانك، ولا تعتبر نظـرية أيذشتـاين على مـا هى عـليه مناسبـة. وأهـم ما فى الموضـوع أن نـظرية النسبية العامة والنظرية الكميـة كـان لهما بالـضرورة دوراً مـهمًا قبل زمن بلانك. ويجـب توحيـد هاتين النظـريتـين بطريقـة ما قـبل مناقـشـة مـوضـوع أصـل الـكون. أى أننا نحتـاج إلى تطبـيق الأفـكار المتضـمنة فى ميكانيكا الكم على الكون فى مجمله.

ونحن نبـحث عن نظرية تصف أصل الكون، فـدعنا نبـدأ بفحص مقـولة أن الكون "خـرج إلى الوجـود من العدم". لقد رأيـنا فى الفصـل الخامس كيف أن التقـلبات الكمـية فى الفراغ - أى فى المكان الخالى - أنتجـت تلقائيا جسـيمات ونقيـض جسـيمات. وتتمثل الفكرة فى أن تقلبات كمية مماثلة يمكنها أيضًا أن تؤدى إلى ظهور كون كامل.

وتأخـذ عمـليـة البـرهـنة المسـار التـالى: فى البـداية كـان العـدم، ثم حـدثت تقلـبـات كـمـيـة أدت إلى ظهـور كون بازغ بالـغ الصـغر من الفـراغ. ثـم تضـخم هـذا الكـون بـعد ذلك ونمـا إلى بنـية معقـدة هـى تلك التى نرصـدها فى وقتنـا الراهن.

وقد يساعدنا فى فهم ما حدث المثال التالى. يعرض الشكل ١٢ - ١ قبعة راعى بقر. لهذه القبعة حافة وقاعدة ولها قمة ناتئة تتجه إلى المركز. لاحظ كيف تهبط قمة القبعة إلى أسفل قليلاً عند المركز تماماً.

افترض أننا وضعنا كرة صغيرة فى حالة استقرار فى قاع هذه القمة. فى هذا المثال تمثل الكرة الكون بطريقة ما.



صغيرة فى نفق خلال حاجز. ففى غياب التقلبات الكمية تظل الكرة التى بدأت من السكون على قمة القبعة قابعة فى مكانها إلى ما لا نهاية. وتتضمن التقلبات الكمية فى موقع وطاقة الكرة أنه سيمكنها فى النهاية أن تعبر من خلال الحاجز إلى حافة القبعة. وتعبر الكرة فى النهاية نفقًا خلال القبعة. ويمثل هذا الحدث ظهور ألكون.

ونقول إن الكون لم يظهر عندما كانت الكرة فى مكانها على قمة القبعة. ومن ناحية أخرى، يكون الكون قد ظهر إذا كانت الكرة على حافة القبعة. وبتعريف وجود الكون بهذه الطريقة، يمكننا القول أنه ظهر عندما انتقلت الكرة من قمة القبعة إلى أسفل نحو الحافة. (وليس التناظر دقيقًا لأن الكرة توجد فعلاً عندما تكون على القمة، حتى لو كان من المفترض أنها تمثل كونًا غير موجود. ومع ذلك فإن الفكرة الأساسية أن موقع الكرة على القبعة يحدد حالة الكون).

كيف يمكننا نقل الكرة عبر الحاجز الذى يفصلها عن الحافة؟ يبدو أننا نواجه مشكلة، لأن الكرة تكون فى البداية مستقرة وليس لها طاقة حركية. ويشير ذلك إلى أنه من المحتم أن تظل الكرة سجينة داخل القمة إلى ما لا نهاية، لأنه ليس لها طاقة كافية لبدء الحركة إلى أعلى فوق النتوء.

لكن التقلبات الكمية تغير هذه النتيجة. فلقد رأينا سابقًا أنه لا يمكن معرفة موقع الكرة بدقة عندما ندخل فى حسباننا التقلبات الكمية، ولا أن نحدد طاقتها أيضًا. وبذلك لا تحتاج الكرة بالضرورة أن تكون حبيسة قاع القمة تمامًا. ويكون عدم اليقين فى

طاقتها عشوائى، ويصبح عدم اليقين هذا فى نهاية الأمر كبيراً نسبيا، مما يتيح للكرة أن تتحرك عبر الحاجز إلى حافة القبعة.

ويطلق على هذه العملية اسم "عبور نفق" لأن الكرة تعبر فى نهاية الأمر نفقًا خلال القبعة. ويمكن أن يكون قد حدث شيء مشابه للكون. حيث تتيح له التقلبات الكمية أن يتحرك فى نفق إلى حيث يظهر من حالة العدم. ولقد دافعت المدرسة الروسية عن هذا التصور عن ميلاد الكون، وبشكل خاص أندريه ليند وألكسندر فلينكين.

وقد نشك فيما إذا كان هذا الوصف للكون الناشئ من العدم يتفق مع القوانين الأساسية الأخرى للفيزياء. مثل حفظ الطاقة. ويتضمن حفظ الطاقة أنه لا يمكننا الحصول على شيء من العدم، لكن يبدو أن عكس ذلك صحيح فى حالتنا هذه. بالفعل يبدو كما لو أننا حصلنا على كون كامل مجانًا! فهل يعنى ذلك أن الطاقة لا تتم المحافظة عليها فى آخر الأمر؟

ويجب أن تكون الكمية الكلية للطاقة الموجودة فى الكون صفراً إذا كان الكون قد ظهر من العدم. ونحن نعرف أن كمية معينة من الطاقة الموجبة توجد على هيئة كتلة، فيجب أن يكون هناك أيضًا كمية مساوية لها من الطاقة السالبة التى تلغى بالضبط هذه الطاقة الموجبة. وتأتى الطاقة السالبة المطلوبة من قوة الجاذبية. والطاقة السالبة الكلية المصاحبة لتأثيرات الجاذبية لكل النجوم والمجرات فى الكون يمكنها أن تلغى "بالضبط" الطاقة الموجبة المصاحبة لكل الكتلة. وتكون الطاقة الكلية للكون صفراً كما هو مطلوب.

وينطبق نفس البرهان على الشحنة الكهربائية. حيث يجب أن تتلاشى الشحنة الموجبة الكلية قبل ظهور الكون لأنه لم يكن هناك جسيمات أولية موجودة. وإذا كان يتم دائمًا حفظ الشحنة الكهربائية، فيجب أن تتلاشى الشحنة الكهربائية الكلية فى الكون الراهن. ومن اللافت للنظر، أن الدلائل تشير إلى أن هذا قد يكون فعلاً ما هو حادث حاليًا.

هناك قوتان ذاتا تأثير بعيد المدى تؤثران على الكون. وهما قوة الجاذبية والقوة الكهرومغناطيسية. والأولى تؤثر بين الأجسام ذات الكتل، بينما تؤثر الثانية على الأجسام المشحونة كهربائيا فقط. والقوة الكهرومغناطيسية أقوى بكثير من قوة الجاذبية، لذلك فإنها تهيمن على ديناميكا الكون إذا كان الكون يحتوى على مزيد من الشحنة الكهربائية الموجبة أو السالبة. وعلى أى حال فإن نتائج الرصد تشير إلى أن المجرات والكواكب تؤثر فى بعضها البعض من خلال الجاذبية فقط، ولا يوجد هناك تأثيرات كهرومغناطيسية. من هنا يمكننا أن نستنتج أن محصلة جمع الشحنة الكهربائية لكل النجوم والمجرات فى الكون تكون صفراً. ويتضمن ذلك أن الشحنة الكهربائية الكلية للكون تتلاشى.

وهناك نتائج مهمة لاحتمال احتواء الكون على شحنة كهربائية وطاقة تساويان الصفر. لأن ذلك يعنى أن كل ما نراه فى الكون محصلته صفر. وبهذا المعنى فإننا لا نحصل فى الواقع على شيء من العدم كما ظننا سابقًا.

ومع ذلك، فكل هذا مجرد جزء من القصة. إن لفكرة أن التقلبات الكمية يمكنها أن توجد الكون كله من العدم، جاذبية خاصة، لكن يظل هناك عدد من المشاكل لم يتم حلها. فليس من الواضح تماماً فى المقام الأول كيف تظهر التقلبات الكمية. وهناك أيضًا السؤال حول كيف يمكن للمكان والزمان أن يتسقا مع هذا التصور. والمقومات الأساسية الثلاثة فى الكون هى المكان والزمان والمادة؛ فهل تحدث التقلبات ما قبل ظهور المكان والزمان، أم أن المكان والزمان يظهران مع التقلبات ومع المادة أيضًا؟ وبكلمات أخرى، هل المكان والزمان لا يعتمدان على بقية الكون، أم أنهما جزء أساسى منه؟

فإذا كان المكان والزمان هما فعلاً كميتان مستقلتان، يمكننا التفكير فى أن ظهور الكون يحدث فى لحظة معينة من الزمن. وعلى أى حال فإن النسبية العامة قد أوضحت لنا كيف أن المكان والزمان والمادة مرتبطون فى صميم طبيعتهم. لذلك من الطبيعى أن

نتوقع أن الثلاثة ظهروا معًا. وينتج عن هذا أن الزمن قد يكون له أصل محدد فى هذا التصور، لأنه قد لا يكون مثل هذا الشىء قد وُجد كزمن من قبل.

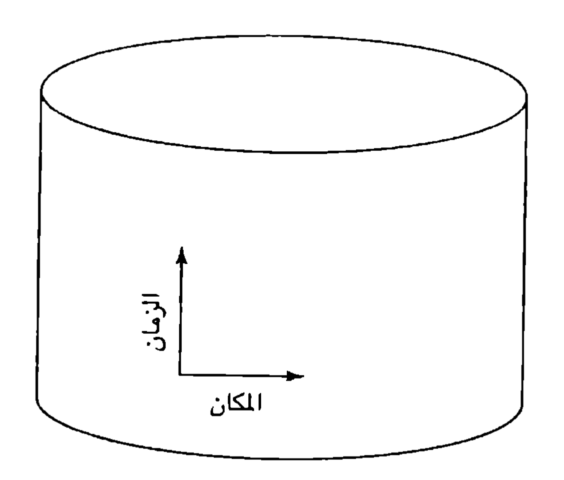
وإذا كان علينا أن نفهم طبيعة هذا الأصل، علينا أولاً أن نحدد ما نعنيه بالزمن.

وباختصار، فإن الزمن هو شىء نقيسه. ومثال لذلك، نعرِّف العام بأنه الزمن اللازم للأرض لكى تكمل دورة واحدة حول الشمس. وبالمثل يمكننا تعريف وحدة الزمن بأنها الفترة اللازمة للقمر حتى يكمل دورة واحدة حول الأرض. وعندما كنا نناقش نظرية أيذشتاين فى الفصل الرابع عرَّفنا وحدة الزمن بأنها الفترة التى تنقضى بين ومضتين متتاليتين من مصباح.

ولقد رأينا أيضًا فى الفصل الرابع كيف أن علينا أن ننظر إلى الزمن كجزء من المكان - الزمان. وبذلك يتكون الكون كله من المكان - الزمان مضافًا إليه المادة. وقد يكون من المفيد لنا أن نرسم أشكال المكان الزمان المناظرة لبعض نماذج الكون. مثال لذلك، دعنا نتصور كونًا مغلقًا يتكون المكان فيه من بعد واحد. وقد يمكن عرض هذا المكان على هيئة دائرة، وعلى الراصد فى هذا الكون أن يعيش حبيس هذه الدائرة.

دعنا نتصور أيضًا أن هذا النموذج للكون ساكن، أى أنه لا يتمدد ولا يتقلص. ويتم تحديد حجم هذا الكون بنصف قطر الدائرة فقط، بذلك يظل نصف القطر ثابتًا مع الزمن.

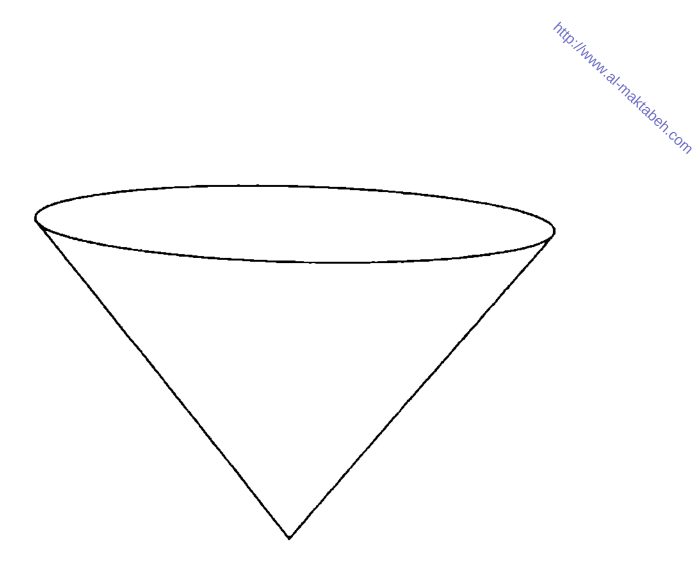
ونقدم رسمًا للمكان - الزمان لهذا الكون فى الشكل ١٢ - ٢ حيث يمر الزمان إلى أعلى فى هذا الشكل، ويشبه المكان - الزمان أسطوانة، حيث أن مساحة الدائرة هى نفسها فى كل الأزمنة.




الشكل ١٢ – ٢ : يمكن تصور كون مغلق ساكن ذى بعد واحد كما لو كان دائرة. وحيث أن هذا الكون لا يتمدد، يظل نصف قطر الدائرة ثابتًا لكل الأزمنة. وحيث أن هذه الدائرة تتحرك مع بعد الزمان فإنها ترسم سطحًا ذا بعدين فى المكان – الزمان. ويشبه شكل المكان – الزمان لهذا الكون أسطوانة. ويمر الزمان فى الاتجاه الرأسى، ويمتد بعد المكان أفقيًا.

ونعرف أن كوننا يتمدد، لذلك فإن هذا التصور يجب أن يمتد إذا كان عليه أن يمثل العالم الواقعى. وفى مثال البعد الواحد هذا، قد يناظر تمدد الكون **زيادة** متوالية فى نصف قطر الدائرة. وفى هذه الحالة، فإن الأزمنة اللاحقة قد تناظر أنصاف أقطار أكبر. ويمكن أن يشبه شكل المكان – الزمان لهذا الكون المتمدد شكلاً مخروطيا، كما هو موضح فى الشكل ١٢ – ٣ .



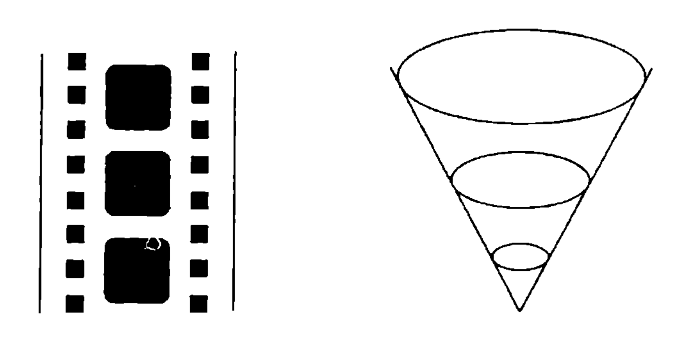


الشكل ١٢ - ٣ : رسم المكان - الزمان لكون متمدد ذى بعد واحد. والمكان والزمان على الاتجاهين الأفقى والرأسى على التتالى. ويتم تمثيل البعد المكانى لهذا الكون بواسطة دائرة. وحيث أن هذا الكون يتمدد فإن نصف قطر الدائرة يزداد مع الزمن، وتكون النتيجة عندئذ أن يشبه المكان - الزمان شكلاً مخروطيا. وتمثل قمة المخروط النقطة التى يختفى عندها الزمان والمكان. وتمثل هذه النقطة مفردة الانفجار العظيم.

فإذا عدنا باستقراء هذه الأحوال المفترضة حتى نتأكد من وجود هذه النتائج فى هذا التصور، يظهر كل من المكان والزمان من العدم مع بقية الكون على قمة هذا المخروط. والسمة الأساسية فى هذا الشكل هى أن الكون يتم تصوره على أساس **هيئة** شكل المكان - الزمان. وعلى أى حال فإن الكمية التى نطلق عليها زمنًا لا تحدد هيئة المكان - الزمان. فهى تمثل ببساطة الطريقة المناسبة لتنظيم الأحداث. وفى الكون المتمدد من الطبيعى تنظيم الأحداث تبعًا لمساحة الدائرة، فعندما يكون نصف القطر صفراً فإن ذلك يناظر الزمن صفر. وبهذا المعنى، فإن الزمن هو الوسيلة التى نقيس بها حجم الكون.

ويحدث تنظيم مماثل للأحداث عندما نشاهد فيلمًا. يمكننا تصور الفيلم بإحدى طريقتين، فيمكننا مناقشته من وجهة نظر مشاهد فى السينما، أو بالتالى

من وجهة النظر الأفضل للمسئول عن جهاز العرض. فالمشاهد يرى تتالى الأحداث ويكون لديه إحساس طاغ بوجود تدفق فى الزمن مع تتالى مشاهد الفيلم. ويكون للمسئول عن جهاز العرض تفسير مختلف، حيث أنه عندما يضع الفيلم فى آلة العرض فإنه يراه كهوية مستقلة، ولا يتعرف على مقياس للزمن من خلال الفيلم المعروض. فالزمن يظهر فقط إذا تم عرض كل كادر على التتالى. وبطريقة مماثلة فإن تدفق الزمن فى كون متمدد يظهر فقط للراصد الذى يقيس حجم الكون بشكل متواصل.



الشكل ١٢ - ٤ : يمكن عمل مخروط يمثل المكان - الزمان لكون يتمدد بوضع دوائر على التتالى ذات أنصاف أقطار أكبر فوق بعضها البعض. ويمكن تمييز كل دائرة بنفس طريقة تمييز المشاهد فوق لفة الفيلم السينمائى. ويمثل هذا التمييز مرور الزمن فى الكون. والزمن هو خاصية جوهرية للكون وليست خارجية بالنسبة إليه. وفى الشكل على اليمين يتحرك الزمن رأسيا إلى أعلى ويمتد المكان أفقيا.

ولذلك فإنه بطريقة ما علينا أن نتصور المكان - الزمان فى الشكل ١٢ - ٣ كما لو كان لفة فيلم سينمائى. فالفيلم يتكون من سلسلة من اللقطات المستقلة التى يتم تجميعها معًا على هيئة تتال محدد تمامًا. وبطريقة مماثلة فإن المكان - الزمان فى الشكل ١٣ - ٣ يمكن تصوره كتجميع لشرائح موضوعة فوق بعضها البعض. وهذا

التماثل معروض فى الشكل التوضيحى ١٢ - ٤ . وفى هذا التصور تمثل كل لقطة فى الفيلم شريحة محددة من الكون. وقد يكون من الأفضل تصور شرائح مفردة من رغيف خبز. فإذا وضعنا شرائح الخبز فوق بعضها البعض سوف نحصل من جديد على الرغيف الأصلى.

ومازال علينا أن نعرف كيف يمكن للتقلبات الكمية فى المكان والزمان أن تؤثر على هيئة أشكال الزمان - المكان هذه. ولقد أثبتنا سابقًا أنه لا يمكن تجاهل هذه التأثيرات عندما يكون الكون بالغ الصغر. وفى الشكل ١٢ - ٣ يصبح الكون أصغر فأصغر كلما اقتربنا من قمة المخروط. ومن المحتمل أن تتغير هيئة الشكل التوضيحى فى هذه المنطقة بطريقة ما بواسطة التقلبات الكمية.

دعنا نلقى مزيداً من الضوء على هذه التأثيرات. ومن المهم أن نؤكد أن التقلبات الكمية تؤثر على كل القياسات، بما فيها ما يخص المكان والزمان. وهذا يعنى أنه سيظل هناك حد لمدى الدقة التى يمكننا بها قياس مقياس طول معين. ويصبح عدم اليقين هذا واضحاً عند مسافات ١٠ ^-٣٥^ أمتار ، أى عند مقياس بلانك.

ويمثل ذلك حدا أساسيا لمدى دقة قياس أى طول. ومن المتوقع أن تكون التقلبات الكمية فى المكان موجودة عندما يكون الكون أصغر من ذلك.

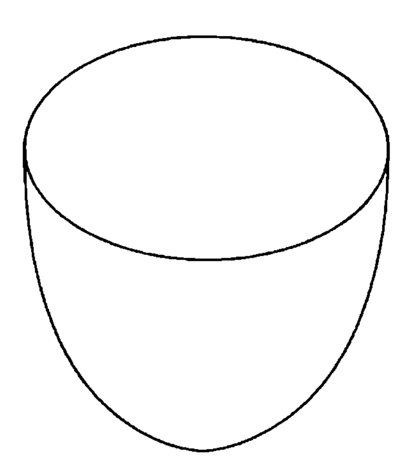
وهناك حد مماثل لمدى دقة قياس الزمن. وأبسط طريقة لتعريف وحدة الزمن أن نقيس الفترة التى يستغرقها بندول متأرجح لكى يكمل ذبذبة واحدة. ولا يمكننا أن نقيس ذلك بدقة، لأننا لا يمكننا أن نحدد موضع البندول بدقة. وعمليًا، لا يمكننا أن نحدد بدقة اللحظة التى يصل فيها البندول إلى أعلى نقطة فى حركته. ويؤدى ذلك إلى عدم يقين أساسى فى قياس الزمن الذى يستغرقه البندول لإكمال اهتزازة كاملة. وزمن بلانك هو مقدار عدم اليقين هذا، ويوجد هذا الخطأ **دائمًا** فى أى قياس للزمن.

وبالطبع فإنه عند مقارنة ذلك بمقاييس الزمن التى نستعملها فى حياتنا اليومية، فإن عدم اليقين هذا يكون على درجة من الصغر تجعلنا نتجاهله. وعلى أى حال فإنه عندما كان عمر الكون على مقياس زمن بلانك، كان تأثير عدم اليقين بالغ الأهمية.

وإذا كان من المستحيل قياس المكان والزمان فيزيائيًا تحت حد بلانك، فليس من الواضح أن يكون لهذين المقدارين معنى فيزيائى. وقد يختفى المفهوم الدقيق للزمان فيما قبل الوصول إلى قمة المخروط تمامًا، وعلى مستوى معين يمكن أن يحدث نفس الشىء بالنسبة للمكان.

إذا كان الأمر كما أوضحنا فكيف يمكن لهذه التقلبات الكمية فى المكان والزمان أن تؤثر على شكل المكان - الزمان كما هو موضح فى الشكل ١٢ - ٣ ؟ ينقضى الزمان فى هذا الشكل فى اتجاه رأسى إلى أعلى، بينما يظل المكان فى الاتجاه الأفقى. ولن نجد أى معنى فيزيائى للمكان والزمان تحت هذا المقياس بسبب التقلبات الكمية. وتكون النتيجة أنه لن يبقى فى استطاعتنا أن نقول أن الزمان ينقضى إلى أعلى وأن المكان يمتد أفقيا. ولن يظل هناك معنى لتعريف ما نعنيه بالمكان - الزمان. ومع ذلك فبطريقة ما يمكن أن يصبح الكون ممهدًا تحت مقياس بلانك.

وهذا التمهيد موضح فى الشكل ١٢ - ٥ وتكون النتيجة عدم وجود نقط حادة فى الشكل. ويكون قد تم محو قمة المخروط فى الشكل ١٢ - ٣، والتى تمثل مفردة الانفجار العظيم ذات الكثافة اللانهائية.



الشكل ١٢ - ٥ : الكون الكمى تحت مقياس بلانك. حيث يفقد المكان والزمان معناهما الفيزيائى المألوف، وتكون قمة المخروط ممهدة. وتم محو المفردة، ويشبه الكون سلطانية أكثر من أن يشبه مخروطًا.

وليس هناك تقييد على الهيئة الدقيقة للكون تحت مقياس بلانك، فنحن أحرار، تبعًا للسياق النظرى، فى أن نختار أى هيئة نعتقد فى احتمال صحتها. وفى عام ١٩٨٣، تم تطوير اقتراح بهيئة للكون الكمى تحت مقياس بلانك بوساطة جيم هارتل، من جامعة كاليفورنيا فى سانتا باربارا، واستيفن هوكنج. ويرى هارتل وهوكنج أن الكون يجب أن يكون بسيطًا بقدر الإمكان. وتوقعا أن يشبه المكان - الزمان **كرة** تحت حد بلانك وبهذه الطريقة يؤكدان أن الكون ليس له أصل، حيث أنه بدون حافة أو حدود. ومع ذلك فلابد أن للكون حافة محددة، حيث أن الزمن الذى نعرفه فى عصرنا الراهن لم يكن موجودًا دائمًا.

ومن المفيد هنا الاستعانة بمثال فى البعدين. يعتبر سطح مائدة المطبخ محدودًا لكنه ذو حواف. فإذا دحرجنا بلية على المائدة فما أسرع ما تسقط إلى الأرضية. ويمكننا تعريف هذه الحواف بأنها منطقة المكان التى تبدأ عندها المائدة. ومثال آخر للمكان المحدد ذى البعدين سطح الكرة. وهذا المكان محدود بمعنى أن نملة تستطيع أن تستغرق فترة محددة من الزمن لتزحف عبر خط الاستواء، لكن النملة لن تسقط من فوق السطح خلال رحلتها هذه لعدم وجود حافة للكرة. بذلك ليس هناك نقطة على السطح يمكننا القول بأنها تمثل أصل الكرة. وتتساوى فى ذلك كل النقاط على سطح الكرة.

ويمكننا صياغة هذه الخاصية بأن نقول أن سطح الكرة ليس له حدود. وتبعًا لهارتل وهوكنج فإن نفس الأمر ينطبق على الكون فى مجمله. أى أن الكون محدد لكنه بلا حدود. ولهذا السبب لا يمكننا أن نطابق بين نقطة معينة فى الشكل ١٢ - ٥ وبين أصل الكون كما فعلنا بالنسبة لقمة المخروط فى الشكل ١٢ - ٣ التى اعتبرناها ممثلة لأصل الكون قبل وضع التقلبات الكمية فى الحسبان.

والمقدار الذى نقيسه فى وقتنا الراهن باعتباره زمنًا له بداية بمعنى ما. فعندما كان الكون أصغر من حد بلانك، لم يكن هناك ما يمكن تسميته بالزمن. وعندما وصل حجم الكون إلى نحو $١٠^{-٣٥}$ أمتار، أصبح من الممكن إهمال التقلبات الكمية الأصيلة

المصاحبة للمكان والزمان. وعند هذه النقطة بدأ المكان والزمان يأخذان هوية منفصلة لكل منهما، وأصبح لمفهوم الزمان معنى. من هنا يمكن تعريف أصل الزمان فى هذا التصور على أنه النقطة التى حدث فيها هذا التحول. وبهذا المعنى ليس الكون قديمًا إلى ما لا نهاية ولم يكن الزمان موجوداً منذ الأزل رغم عدم وجود حد أو حافة لبعد الزمن. فإذا تتبعنا بعد الزمن متقهقرين إلى الخلف، قد نجد أنه متحد مع الأبعاد الأخرى للمكان على هيئة سطح **مغلق** ممهد.

ورغم الجاذبية الشديدة لاقتراح هارتل وهوكنج عن عدم وجود حدود، فيجب أن نؤكد على عدم وجود دليل تجريبى فى الوقت الراهن يشير إلى صحة ذلك. وظهر حديثًا تصور آخر حول أصل كوننا قدمه باحثون، وعلى وجه الخصوص لى سمولين من جامعة ولاية بنسيلفانيا. ويقوم هذا التصور على عملية فيزيائية يمكن أن تكون قد حدثت فى ثقب أسود. وكما رأينا فى الفصل الحادى عشر فإن الثقب الأسود يتكون كلما انهارت المادة بدرجة تجعل الضوء عاجزاً عن الإفلات من شد الجاذبية. مثال لذلك، قد ينهار نجم بالغ الضخامة إلى ثقب أسود عندما ينفد الوقود النووى داخل قلب النجم. وقد تكون النتيجة ظهور ثقوب سوداء بالغة الصغر فى الكون بمجرد انتهاء التضخم.

وتبعًا لنظرية أيذشتاين تكون قوة الجاذبية بالغة القوة داخل أفق حدث الثقب الأسود بحيث يعجز أى شىء عن منع مزيد من الانهيار. وتتنبأ النظرية بأن المادة لابد أن تنهار بلا توقف حتى تصبح كثافتها لانهائية. وهذا يعنى أن الحجم المشغول بالمادة يتلاشى فى نهاية الأمر. ويقال أن مفردة ظهرت عند الوصول إلى هذه النقطة.

ولقد رأينا سابقًا كيف أن نظرية أيذشتاين لم تضع فى حسبانها التقلبات الكمية فى قوة الجاذبية هذه. ولهذا السبب فإنها لا تناسب المقاييس الأصغر من حد بلانك. ولا يمكننا استخدامها لبحث ما حدث للمادة المنهارة بمجرد أن أصبحت كثافتها بالغة الارتفاع. ويجب دمج تأثيرات الجاذبية الكمية مرة أخرى فى هذا التصور حتى نتمكن من فهم ما حدث فى آخر الأمر للمادة عندما انهارت على هيئة ثقب أسود.

ولقد ناقشنا كيف فقد المكان والزمان معناهما الفيزيائى فى الأبعاد الأقصر من مقياس بلانك، ولا يمكننا ببساطة أن نتكلم عن المكان والزمان فى أبعاد أصغر من ذلك. ونفس الأمر صحيح بالنسبة لمنحنى المكان – الزمان. ويصبح الأمر مثيرًا للجدل إذا أردنا مناقشة هذه المفاهيم بالطريقة التقليدية، وعلينا أن نحصر المناقشة فى المقاييس المماثلة لمقياس بلانك. ومن المقبول فى هذه الحالة أن نتوقع أن يحد هذا الأمر من منحنى المكان – الزمان بطريقة تجعله لا يتخطى قيمة حرجة معينة. ويضاف إلى ذلك أنه بسبب الارتباط الأصيل للمنحنى بتوزيع المادة فإن كثافة المادة فى منطقة معينة لابد أن تكون مقيدة بنفس الطريقة.

وما يشغلنا هنا هو ما إذا كانت التقلبات الكمية قادرة على إيقاف الانهيار بمنع الكثافة من الوصول إلى حد أعلى. وهناك تلميحات فى نظرية الأوتار الفائقة تشير إلى إمكانية إيقاف الانهيار، ومن المحتمل أن وترًا فائقًا لم يستطع أن يتمركز فى منطقة أصغر من طول بلانك. فإذا حدث ذلك فإن تكوين المفردة يصبح أمرًا لا يمكن تجنبه. ويصعب علينا فى الوقت الراهن الوصول إلى إجابة محددة عن هذا السؤال. ومع ذلك يمكننا أن نتعامل مع هذا الاحتمال كفرضية، ولو أنها حدسية إلى حد ما. وعلينا حينئذ أن نضع فى اعتبارنا نتائج تبنى مثل هذا المدخل. فإذا قاد إلى نتائج فيزيائية مهمة، سيكون لدينا دافع قوى لبحثه بمزيد من التفاصيل.

افترض عندئذ أن الانهيار قد توقف فعلاً عندما وصلت الكثافة إلى تلك المرتبطة بمقياس بلانك. ما الذى سيحدث بعد ذلك؟ من المتوقع أن تأثيرات نظرية الأوتار الفائقة ستكون مهمة فى هذه المرحلة. ولقد ناقشنا فى الفصول الأولى كيف يمكن لهذه النظرية أن تؤدى إلى عصر تمدد تضخمى. وأحد الاحتمالات عندئذ أن الشروط داخل الثقب الأسود قد تؤدى إلى تضخم. وحيث أن التضخم يسبب تمدد المكان بسرعة فائقة، قد يلى التقلص عصر تمدد جديد.

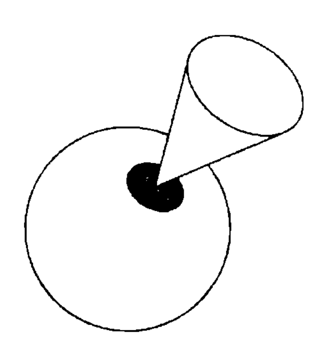
وفوراً يواجهنا تناقض. فإذا كان المكان داخل الثقب الأسود يتضخم، سوف يزداد حجمه بنسبة كبيرة فى فترة زمنية بالغة القصر. وسيكون الحجم النهائى للمكان أكبر من الكون الذى نرصده حاليًا إذا حدث ما يكفى من التضخم. ومن جانب آخر، فإنه لا يوجد أى شىء داخل الثقب الأسود يمكنه أن يخرج أبدًا، لذلك فإن حدوث أى تمدد يجب أن يظل حبيسًا داخل الثقب الأسود.

وتنشأ المشكلة عندما نحاول البحث عن مكان لكل هذا المكان المتضخم. ويعتبر أفق حدث الثقب الأسود النموذجى صغيراً نسبيا وليس بالتأكيد فى حجم الكون كله. فكيف يحدث إذن أن تكون منطقة من المكان على درجة من الضخامة تماثل الكون الذى نرصده حاليًا، محصورة فى هذا الثقب الأسود؟

ويمكننا فهم كيفية حل هذا التناقض إذا درسنا مثالاً للبعدين. فدعنا نعود إلى النملة التى يمكنها التحرك حول سطح من بعدين مثل سطح بالونة. ففى هذا المثال يمكننا تصور سطح البالونة على أنه المكان فى الكون.

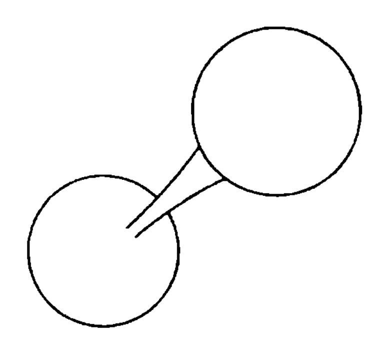
سوف تفكر النملة فى الثقب الأسود فى كونها على أنه منطقة مغلقة من السطح لا يمكنها رؤيتها. وبالسير الحذر حول أفق حدث هذا الثقب الأسود، ستستنتج النملة أنه يتكون من منطقة محدودة من المطاط. فبمجرد انهيار المادة داخل هذا الثقب الأسود إلى درجة كافية، قد يتلوه تضخم، كما ناقشنا الأمر سابقًا. ويؤدى ذلك إلى تمدد مطاط البالونة داخل أفق الحدث. ولن يتمدد المطاط فى البعدين فى عالم النملة، لكنه يتحرك إلى أعلى فى اتجاه **عمودى** على سطح البالونة. وهذا ما يوضحه الشكل ١٢ - ٦ .

وهذا يفسر سبب ظهور المكان الجديد الناتج عن التمدد التضخمى كما لو كان موجوداً داخل الثقب الأسود. وليس هناك حدود لامتداد البعد الثالث، لذلك فهناك مكان أكثر من الحاجة بالنسبة للمطاط حديث التمدد. ولن تعرف النملة شيئًا عن المكان الجديد، لأنها لا يمكنها قياسه. ولا تفهم النملة سوى البعدين الموجودين على سطح البالونة.



الشكل ١٢ - ٦ : نملة موجودة على بالونة ولا تعرف سوى بعدى السطح. وقد يتصور هذا الكائن الثقب الأسود كما هو موضح بالمنطقة المظللة على السطح. والأحداث التى تقع داخل هذه المنطقة محجوبة عن النملة. ويمكن أن يظهر كون جديد، كما هو موضح بالمخروط، داخل الثقب الأسود بأن يتمدد مطاط البالون داخل أفق الحدث بطريقة مناسبة. ولا يتقيد حجم المخروط بحجم الثقب الأسود لأنه يتمدد فى اتجاه عمودى على سطح البالونة.

ويمكن أن تحدث نفس العملية فى الكون الواقعى. وهذا يعنى أن المكان المتمدد داخل الثقب الأسود سيسلك كما لو كان كونًا متضخمًا بطريقته. وحيث أنه نتج عن تكوين ثقب أسود، يمكن النظر إليه على أنه كون "وليد". ويمكننا النظر إلى الكون الذى تشكل فيه الثقب الأسود فى البداية على أنه "الأم"، لأنه أنتج وليداً. والعلاقة بين الأم والوليد موضحة فى الشكل ١٢ - ٧ . ويرتبط الكونان عن طريق أنبوب مكان - زمان، الذى يلعب، من جانب ما، دور الحبل السرِّى.



الشكل ١٢ - ٧ كون وليد على اليمين ناتج عن كون أم. ويتصل الاثنان بأنبوب مكان - زمان .

ولقد رأينا فى الفصل السابق كيف أن التقلبات الكمية فى منطقة خارج الثقب الأسود مباشرة تسبب فقد الثقب الأسود للكتلة وتبث الجسيمات بفعالية. ويتقلص أفق حدث الثقب الأسود باستمرار. وهناك سؤال أساسى يجرى بحثه حاليًا يدور حول ما يحدث للثقب الأسود بمجرد تقلص أفق الحدث الخاص به إلى حجم بلانك. وتوصل بعض الباحثين إلى أن الثقب الأسود سوف يتوقف عن التبخر عند هذه النقطة بسبب التأثيرات الكمية. وهناك وجهة نظر بديلة تقول بأن التبخر سيستمر حتى يختفى الثقب الأسود تمامًا. وفى هذه الحالة سوف يتقلص أفق الحدث إلى الصفر.

فإذا كان الخيار الثانى صحيحًا، فسوف تكون له نتائج مهمة بالنسبة للسيناريو الموضح فى الشكل ١٢ - ٧ . فقد يكون للحبل السُّرِّى الذى يصل بين الكونين نصف قطر قريب من نصف قطر طول بلانك. وتكون نقطة اتصاله بالكون الأم موجودة فى أفق حدث الثقب الأسود. فإذا كان على هذا الأفق أن يتقلص تحت طول بلانك فإنه سوف يتلاشى فى نهاية الأمر، ولن يكون هناك مكان كاف للحبل السُّرِّى .

فما الذى يحدث للكون الوليد؟ أحد الاحتمالات أن يفلت تمامًا من الكون الأم. وتنفصل الأم عن الوليد، وقد يبدأ الكون الوليد فى التصرف كما لو كانت له هوية مستقلة. وفى هذا التصور إذن يمكن أن يؤدى تكوين الثقب الأسود وتبخره التالى إلى ميلاد كون جديد.

فما يكون أمر تطور الكون الوليد بمجرد ميلاده؟ إذا كان متضخمًا فى البداية فإن العمليات الفيزيائية المؤثرة ستكون مشابهة لتلك التى ناقشناها فى الفصل التاسع . وفى نهاية الأمر، ستتوقف بعض مناطق الكون الوليد عن التضخم، وتبدأ مرحلة انفجار عظيم ساخن، ونموذجى، فى الحدوث.

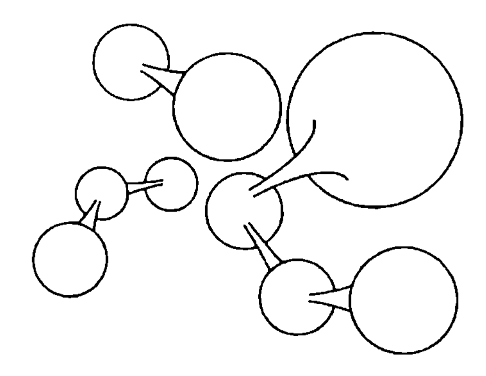
وسوف تؤدى التقلبات الكمية متأصلة الوجود فى التضخم إلى شذوذات عشوائية فى توزيع المادة. وكما ناقشنا الأمر فى نهاية الفصل الحادى عشر،

ستكون هذه الشذوذات على درجة من الضخامة فى بعض المناطق بحيث تتكون ثقوب سوداء بالغة الصغر. وستكون هذه الثقوب السوداء أصغر عدة مرات من تلك التى تكونت من انهيار النجوم. وحتى لو كان الأمر كذلك، سيظل بعضها على درجة من الضخامة ويستطيع البقاء حتى مليارات السنوات. ومع ذلك فالبعض الآخر قد يكون على درجة من الخفة تصل إلى بضع جرامات. ولهذه الثقوب السوداء أعمار قصيرة جدا وتتبخر خلال بضع ثوان، لكن المكان داخلها سيكون قد تضخم بالفعل مع زمن استكمال التبخر.

وتتكرر هذه العملية التى وصفناها توًّا. حيث تتكون أكوان جديدة داخل الثقوب السوداء التى تشكلت عندما توقف الكون الوليد الأصلى عن التضخم. ومن جانب ما، فإن هذه الأكوان ستمثل "أحفاد" الكون الأم الأصلى. وحيث إن هذه الأكوان تنتمى إلى هذا الجيل الثانى فإنه سيحدث لها تضخم أيضًا، وينتج مزيد من الثقوب السوداء عند انتهاء تمددها التضخمى.

لقد وصلنا إلى تصور جديد عن الكون. وهو ما يوضحه الشكل ١٢ – ٨ : وسوف نشير إلى هذا التصور بأنه **الكون الشامل**. ويتكون الكون الشامل من شبكة من الأكوان الوليدة المغلقة. ويرتبط بعضها بالبعض الآخر من خلال ثقوب سوداء لم تتبخر بكاملها. وسوف ينفصل البعض الآخر عن أمهاته لأن الثقب الأسود الأصلى الذى تشكلت فيه قد تبخر بكامله. وتنشأ ثقوب سوداء جديدة فى معظم هذه الأكوان الوليدة، والتى ينتج عنها الجيل الثانى من الأكوان. التى تتضخم بدورها لتنتج ثقوبًا سوداء جديدة.





الشكل ١٢ - ٨ يتكون الكون الشامل من شبكة أكوان وليدة نشأت داخل ثقوب سوداء. وتتضخم هذه الأكوان الوليدة فينتج عنها مزيد من الثقوب السوداء ومزيد من الأكوان الوليدة. ويتيح التبخر الكمى للثقوب السوداء للأكوان الوليدة أن تنفصل عن بعضها البعض، وقد يكون كوننا قد نشأ بهذه الطريقة. ومن حيث المبدأ، يمكن لهذه العملية أن تتكرر إلى مالانهاية.

وأهم ما فى الموضوع أن الكون الوليد الأصلى يمكنه أن **يتكاثر**. حيث ينمو ليصبح أمًا بطريقته الخاصة، والشىء نفسه يحدث لأبنائه وأبناء أبنائه وهكذا. وتعتبر دورة تشكيل أكوان جديدة متضخمة داخل ثقوب سوداء صغيرة متبخرة، مستديمة ذاتيا. فبمجرد أن تبدأ يمكنها أن تستمر إلى ما لا نهاية. وقد لا يفنى الكون الشامل أبدًا وقد ينتج أكوانًا جديدة فى المستقبل غير المحدود .

ويتحدد الحجم النهائى للكون الوليد بكمية التمدد التضخمى الذى يحدث له فى تشكله الأول. ويتحدد ذلك بدوره بالشروط التى كانت موجودة فى الثقب الأسود. وهو ما يختلف من ثقب أسود إلى ثقب أسود آخر، لذلك فإن الأكوان الوليدة تتضخم بكميات مختلفة.

فبعضها سوف يتضخم لمجرد زمن قصير جدا فقط. وهذا يعنى أنها ستبدأ فوراً فى التقلص ولن تبقى أبدًا إلى عمر كاف لكى تتطور. والبعض الآخر قد لا يتوقف عن التضخم، ويكون تمددها بالغ السرعة. وحيث أن الأكوان الوليدة تتكون باستمرار فى هذا التصور، فإنه عند نقطة محددة فى نهاية الأمر يستمر التمدد التضخمى داخل واحد منها فترة زمنية كافية لتكوين النجوم. ونحن نسكن فى مثل هذا الكون الوليد.

إنه أحد الأكوان التى تحـتوى عدداً ضـخـماً من النجوم، وحدث أن أحد هذه النجوم هو شمسنا.

ولقد أتاح التمدد التضـخمى لكوننا الوليد أن ينمو إلى حجم بالغ الضـخامة، ولكن كيف أصبح كوننا على هذه الدرجة من الضخامة؟ إنه أضخم من الشمس ١٠ ^٢٢ مرات على الأقل. فمن أين جاءت كل هذه الكتلة؟

قد نـتوقـع أن كـتـلة الكون الوليد تتقـيد بكمـيـة المادة التى سـقطت فـى الثـقب الأسـود، لكن هذا ليس صـحـيـحـاً. فلقد رأينا كـيف يمكن ظهور الكتلة من "العـدم" طالما نشأت أيضاً كمية مماثلة من طاقة الجاذبية السالبة. وبهذه الطريقة تكون الكمية الكـلية للطاقة مـحـفوظة. فلم تكن هناك طاقة فيما قبل وليس هناك طاقة فيما بعد، وتلغـى طاقة الجاذبية السالبة تماماً الطاقة الموجبة للكتــلة. ومن ثم فـإن كتـلة الكـون الوليـد يمكن أن تـكون ضخـمة جدا. حقا، يمكن للوليد أن ينمو ليكون أكثر ضخامة من أمه.

وفى هذا السـيناريو ظهر الوجـود الذى نعيش فيـه عندما بدأ المكان داخل الثقب الأسود المتشكل حديثًا فى التضخم. وهذا يعنى أنه من المحتمل أننا نحتل مكاناً داخل ثقب أسود فى الوقت الراهن. وعندما كنا نناقش خواص الثقوب السوداء فى الفصل الحادى عشر، أكدنا على أنه من المستحيل تماماً رؤية ما فى داخلها مباشرة. ويبدو أن داخل الثقب الأسود يمثل منطقة محظورة. وقد يكون العكس صحيحاً فى التصور الذى نناقشـه الآن. وفى هذه الحالة يكون كل كوننا القابل للرصد مـوجوداً داخل ثقب أسود، مما يسمح باحـتمـال أن فى استطاعتنا أن نفحص ما فى داخل ثقب أسود بمجرد دراسة بنية الكون الذى نعيش فيه.

ولكوننا الوليد أصل بمعنى أنه ظهر إلى الوجود عندما بدأ الثقب الأسود الذى أفرخه فى التشكل. ومن المنطقى أن نتوقع أن كوننا لم يوجد قبل الثقب الأسود. ومن ناحية أخرى، فإنه من غير الواضح ما إذا كان الكون الشامل نفسه له بداية محددة. وإذا لم تتوقف عملية التكاثر الذاتى بمجرد ابتدائها، فمن المحتمل أنها كانت تحدث

دائمًا. ومن الممكن البرهنة على أن الكون الشامل كان موجوداً دائمًا فى حالة التكاثر الذاتى هذه. ومن ناحية المبدأ قد لا يكون للكون الشامل أصل.

وهذا مجرد تفسير محتمل. فقد يكون الكون الشامل قد نشأ عن تقلب ما فى الفراغ بواسطة العملية التى ناقشناها فى بداية هذا الفصل. والبديل قد يكون مستقل تمامًا بالطريقة التى بحثها هارتل وهوكنج.

وفى الختام دعنا نلخص ما قدّمناه فى هذا الكتاب. فى هذا الفصل قدمنا سيناريوهين عن أصل الكون الذى نعيش فيه. يقوم الأول على اقتراح قدمه هارتل وهوكنج، حيث لا يوجد للكون حدود معينة. ويدور الثانى حول فكرة أن ظهور ثقب أسود قد يسبب ظهور كون جديد. وقد يكون لهذا الكون الوليد عمر محدود، لكن الكون الشامل لا يحتاج لأن يكون له أصل محدد تمامًا.

ومعرفتنا الحالية بتاريخ الكون تشير إلى أن نظرية الأوتار الفائقة تسرى عندما كان عمر الكون لا يتجاوز $١٠^{-٤٣}$ ثوانٍ. وفى تصور التضخم العشوائى، كان للمناطق ذات أحجام بلانك المختلفة شروط أولية مختلفة. وفى بعض المناطق كانت الشروط مناسبة للتضخم، ولا يحتاج الكون بالضرورة لأن يكون ساخنًا قبل بداية التضخم. وحدث لهذه المناطق المتضخمة تمدد بالغ السرعة وزاد حجمها بنسبة كبيرة جدا. ويمكن لتضخم الكون هذا أن يفسر، ولو من حيث المبدأ، سبب تلك الضخامة التى يتصف بها الكون حاليًا واحتوائه أيضًا على نجوم ومجرات.

وعندما انتهى التضخم كان هناك تحول ضخم للطاقة. فالطاقة التى دفعت التمدد التضخمى تم تحولها إلى جسيمات أولية وإشعاع، الذى أدى إلى ارتفاع كبير جدا فى درجة حرارة الكون. ومن المحتمل أن درجة الحرارة قد تجاوزت تلك الدرجة المطلوبة لكى تعمل القوة الكهروضعيفة. وفى نهاية الأمر، هبطت درجة الحرارة إلى حد يكفى لأن تنقسم القوة الكهروضعيفة إلى مكونين مستقلين. وهما اللذين يشار إليهما حاليًا بالقوتين الضعيفة والكهرومغناطيسية. وتم هذا الانفصال بعد نحو $١٠^{-١٠}$ ثوانٍ من نهاية التضخم.

وعند هذا الوقت هبطت درجة الحرارة إلى ١٠ ^١٥^ درجات. وكانت الكواركات مضغوطة جدا ببعضها البعض حتى أنها لم تشعر بالتأثير المقيد للجليونات. وسلكت فى الأساس كما لو كانت جسيمات حرة. وزاد هذا الانفصال المتوسط مع تمدد الكون، وبعد نحو ١٠ ^-٤^ ثوانٍ، تم حبس الكواركات على هيئة أزواج أو ثلاثيات. وما أسرع ما تلاشت هذه الحالات المقيدة، وكانت الجسيمات الوحيدة التى تشكلت من الكواركات بعد هذا الزمن هى النيوترونات والبروتونات.

وظلت النيوترونات حرة حتى انقضاء نحو ثلاث دقائق. وفى هذا الوقت، هبطت درجة حرارة الكون بما يكفى لأن ترتبط النيوترونات والبروتونات ببعضها البعض لتشكيل النوى. وخلال هذه العملية من "تخليق النوى"، كانت الشروط قد تغيرت بسرعة فائقة. وكان هناك طاقة كافية فقط وزمن متاح لتشكيل النوى الأكثر خفة. وظل الكثير من البروتونات حراً واستمر فى تشكيل الهيدروجين. واتحدت النيوترونات وبقايا البروتونات لتشكيل الهليوم وكمية صغيرة من العناصر الأخرى.

واستمر التمدد بعد تخليق النوى، ولكن لم يحدث شىء مهم على امتداد أكثر من ثلاثمائة ألف سنة. وظلت طاقة الفوتونات مرتفعة بما يكفى لمنع الإلكترونات والنوى من تشكيل ذرات. وبعد انقضاء ذلك الزمن كانت الفوتونات قد فقدت الكثير من طاقتها فى التمدد. عندئذ أصبحت الإلكترونات والنوى حرة فى الاتحاد على هيئة ذرات متعادلة. وحيث أن الإشعاع لم يتأثر بالمادة المتعادلة كهربائياً، لذلك أصبح من الناحية الأساسية متحرراً من المادة. وأصبح الكون شفافاً فى ذلك العصر.

وكانت الجاذبية هى المهيمنة حينئذ على الكون. ونمت التقلبات البدائية التى نشأت خلال التضخم، من حيث حجمها تحت تأثير الجاذبية. وأصبح الكون كثير الكتل بمرور الوقت، وظهرت بالتدريج جزر من المادة الكثيفة نسبيا فى الكون كله. ولم تكن هذه الجزر منتظمة تماماً، وتناثرت على هيئة كثير من الجزر الصغيرة المنفصلة.

وزادت درجة حرارة المادة فى هذه الجزر الصغيرة مع تقلصها. وأصبحت مراكزها على درجة عالية من الحرارة حتى أن نوى الهيدروجين استطاعت أن تندمج

معًا لتكوين هليوم. وأطلق هذا التحول من هيدروجين إلى هليوم طاقة كافية لمنع المزيد من تقلص الجزر الصغيرة، فتشكلت على هيئة نجوم.

ومن الناحية النموذجية يمكن للنجم الذى يحول الهيدروجين إلى هليوم أن يبقى مليارات السنوات. وبشكل عام، فإن النجوم الأكثر ضخامة تحرق الهيدروجين بشكل أكثر فعالية. وكثير من النجوم التى تكونت بعد الانفجار العظيم بوقت قصير لابد أنها كانت ضخمة جدا. ولهذه النجوم أعمار أقصر وتنهار بمعدل أسرع عندما ينفد منها الهيدروجين. عندئذ تندمج نوى الهليوم فى القلب مع بعضها البعض لتكوين الكربون والنتروجين والأكسجين وهى أساسية جدا للحياة هنا على الأرض.

ثم انفجرت النجوم الضخمة فى آخر الأمر على هيئة سوبرنوفا عندما انطلقت مناطقها الخارجية بعيداً. ويُعتقد أن نظامنا الشمسى قد تشكل من بعض المادة النجمية التى انطلقت خلال أحد هذه التفجرات منذ نحو خمسة مليارات سنة مضت.

ويجب التأكيد على أنه رغم أن هذه الأفكار الجديدة حول حالة الكون قبل عصر التوحيد الأكبر مستمدة فعلاً من وجهة نظر فيزيائية، فإنه ليس لدينا حاليًا دلائل رصد مباشرة سيان كانت تثبت صحة هذه الأفكار أو تعلن بطلانها. وتتيح شذوذات الحرارة فى إشعاع الخلفية الكونية الميكروويفى، التى ناقشناها فى الفصل التاسع، دعمًا قويا لفكرة أن التقلبات ظهرت عند تحول عصر النظرية الموحدة الكبرى أو قبله بوقت قصير. وليست نتائج الرصد على درجة عالية من الدقة فى الوقت الراهن بحيث تتيح لنا استنتاج مؤكد حول ما إذا كانت التقلبات قد نشأت عن تمدد تضخمى للكون. وعلى أى حال سوف نستطيع اختبار فكرة التضخم خلال السنوات القليلة القادمة مع تحسن مستويات الرصد.

وفى بداية هذا الكتاب، قمنا بجولة سريعة حول ما يحتويه كوننا القابل للرصد. ولقد واجهتنا مشاكل فى التعامل مع المسافات الشاسعة فى الكون حتى قبل أن نغادر

منظومتنا الشمسية المقيدة. وتوصلنا إلى أن الكون القابل للرصد يمتد قطره عشرة مليارات سنة ضوئية على الأقل، وأن هذا يعتبر فى الحقيقة امتداداً شاسعاً جدا إذا قارناه بخبرتنا اليومية. ونرى الآن كم هى بالغة الصغر هذه المسافة إذا قارناها بالمقاييس الفعلية التى من المحتمل أنها كانت موجودة فى الكون المتضخم. لذلك فالنتيجة التى علينا أن نخرج بها من رحلتنا الكونية هى أن "الانفجار" قد يكون "أعظم" بكثير مما تصورناه سابقًا.





## المؤلف فى سطور

### چيمس إ . ليدسى

حاصل على زمالة أبحاث فى جامعة رويال سوسايتى فى كلية كوين مارى وويستفيلد، وفى جامعة لندن.

وتتركز اهتماماته البحثية على الكون فى لحظاته المبكرة، خاصة ظاهرة التضخم، وبعض الجوانب الكونية فى نظرية الأوتار الفائقة.

وفى عام ١٩٩٨، نشرت عنه "صنداى تايمز" ضمن قائمة "أهم مائة" بين الأكاديميين الواعدين.



## المترجم فى سطور

## عزت عامر

مهندس طيران ومحرر علمي ومترجم عن الإنجليزية والفرنسية، ينشر فى العديد من المجلات والصحف العربية، وخاصة مجلة "العربى" الكويتية.

عمل محرراً لصفحة العلم والتكنولوجيا فى صحيفة "العالم اليوم" المصرية، ومسئولاً عن العلم والتكنولوجيا ومحرر صفحة طبية فى صحيفة "الاقتصادية" السعودية.

صدرت له عن المجلس الأعلى للثقافة "يا له من سباق محموم" لفرانسيس كريك، و"بلايين وبلايين" لكارل ساجان ، و« حكايات من السهول الإفريقية » لآنى جاتى .

وله – تحت الطبع – "الشفرة الوراثية وكتاب التحولات" لجونسون ف. يان.

نشر له ديوانان : "مدخل إلى الحدائق الطاغورية" و"قوة الحقائق البسيطة" ومجموعة قصصية "الجانب الآخر من النهر".



# المشروع القومى للترجمة

المشروع القومى للترجمة مشروع تنمية ثقافية بالدرجة الأولى ، ينطلق من الإيجابيات التى حققتها مشروعات الترجمة التى سبقته فى مصر والعالم العربى ويسعى إلى الإضافة بما يفتح الأفق على وعود المستقبل، معتمداً المبادئ التالية :

١- الخروج من أسر المركزية الأوروبية وهيمنة اللغتين الإنجليزية والفرنسية .

٢- التوازن بين المعارف الإنسانية فى المجالات العلمية والفنية والفكرية والإبداعية .

٣- الانحياز إلى كل ما يؤسس لأفكار التقدم وحضور العلم وإشاعة العقلانية والتشجيع على التجريب .

٤- ترجمة الأصول المعرفية التى أصبحت أقرب إلى الإطار المرجعى فى الثقافة الإنسانية المعاصرة، جنبًا إلى جنب المنجزات الجديدة التى تضع القارئ فى القلب من حركة الإبداع والفكر العالميين .

٥- العمل على إعداد جيل جديد من المترجمين المتخصصين عن طريق ورش العمل بالتنسيق مع لجنة الترجمة بالمجلس الأعلى للثقافة .

٦- الاستعانة بكل الخبرات العربية وتنسيق الجهود مع المؤسسات المعنية بالترجمة .



# المشروع القومى للترجمة

| | | | |
|---|---|---|---|
| ١- | اللغة العليا | جون كوين | أحمد درويش |
| ٢- | الوثنية والإسلام (ط١) | ك. مادهو بانيكار | أحمد فؤاد بلبع |
| ٣- | التراث المسروق | جورج جيمس | شوقى جلال |
| ٤- | كيف تتم كتابة السيناريو | انجا كاريتنكوفا | أحمد الحضرى |
| ٥- | ثريا فى غيبوبة | إسماعيل فصيح | محمد علاء الدين منصور |
| ٦- | اتجاهات البحث اللسانى | ميلكا إفيتش | سعد مصلوح ووفاء كامل فايد |
| ٧- | العلوم الإنسانية والفلسفة | لوسيان غولدمان | يوسف الأنطكى |
| ٨- | مشعلو الحرائق | ماكس فريش | مصطفى ماهر |
| ٩- | التغيرات البيئية | أندرو. س. جودى | محمود محمد عاشور |
| ١٠- | خطاب الحكاية | چيرار چينيت | محمد معتصم وعبد الجليل الأزدى وعمر حلى |
| ١١- | مختارات | فيسوافا شيمبوريسكا | هناء عبد الفتاح |
| ١٢- | طريق الحرير | ديفيد براونيستون وايرين فرانك | أحمد محمود |
| ١٣- | ديانة الساميين | روبرتسن سميث | عبد الوهاب علوب |
| ١٤- | التحليل النفسى للأدب | جان بيلمان نويل | حسن المودن |
| ١٥- | الحركات الفنية | إدوارد لويس سميث | أشرف رفيق عفيفى |
| ١٦- | أثينة السوداء (جـ١) | مارتن برنال | بإشراف: أحمد عثمان |
| ١٧- | مختارات | فيليب لاركين | محمد مصطفى بدوى |
| ١٨- | الشعر النسائى فى أمريكا اللاتينية | مختارات | طلعت شاهين |
| ١٩- | الأعمال الشعرية الكاملة | چورج سفيريس | نعيم عطية |
| ٢٠- | قصة العلم | ج. ج. كراوثر | يمنى طريف الخولى و بدوى عبد الفتاح |
| ٢١- | خوخة وألف خوخة | صمد بهرنجى | ماجدة العنانى |
| ٢٢- | مذكرات رحالة عن المصريين | جون أنتيس | سيد أحمد على الناصرى |
| ٢٣- | تجلى الجميل | هانز جيورج جادامر | سعيد توفيق |
| ٢٤- | ظلال المستقبل | باتريك بارندر | بكر عباس |
| ٢٥- | مثنوى | مولانا جلال الدين الرومى | إبراهيم الدسوقى شتا |
| ٢٦- | دين مصر العام | محمد حسين هيكل | أحمد محمد حسين هيكل |
| ٢٧- | التنوع البشرى الخلاق | مقالات | نخبة |
| ٢٨- | رسالة فى التسامح | جون لوك | منى أبو سنة |
| ٢٩- | الموت والوجود | جيمس ب. كارس | بدر الديب |
| ٣٠- | الوثنية والإسلام (ط٢) | ك. مادهو بانيكار | أحمد فؤاد بلبع |
| ٣١- | مصادر دراسة التاريخ الإسلامى | جان سوفاجيه - كلود كاين | عبد الستار الحلوجى وعبد الوهاب علوب |
| ٣٢- | الانقراض | ديفيد روس | مصطفى إبراهيم فهمى |
| ٣٣- | التاريخ الاقتصادى لأفريقيا الغربية | أ. ج. هوبكنز | أحمد فؤاد بلبع |
| ٣٤- | الرواية العربية | روجر آلن | حصة إبراهيم المنيف |
| ٣٥- | الأسطورة والحداثة | بول . ب . ديكسون | خليل كلفت |
| ٣٦- | نظريات السرد الحديثة | والاس مارتن | حياة جاسم محمد |
| ٣٧- | واحة سيوة وموسيقاها | بريجيت شيفر | جمال عبد الرحيم |

| | | | |
|---|---|---|---|
| ٣٨- | نقد الحداثة | آلن تورين | أنور مغيث |
| ٣٩- | الإغريق والحسد | بيتر والكوت | منيرة كروان |
| ٤٠- | قصائد حب | آن سكستون | محمد عيد إبراهيم |
| ٤١- | ما بعد المركزية الأوروبية | بيتر جران | عاطف أحمد وإبراهيم فتحى ومحمود ماجد |
| ٤٢- | عالم ماك | بنجامين باربر | أحمد محمود |
| ٤٣- | اللهب المزدوج | أوكتافيو باث | المهدى أخريف |
| ٤٤- | بعد عدة أصياف | ألدوس هكسلى | مارلين تادرس |
| ٤٥- | التراث المغدور | روبرت ج دنيا - جون ف أ فاين | أحمد محمود |
| ٤٦- | عشرون قصيدة حب | بابلو نيرودا | محمود السيد على |
| ٤٧- | تاريخ النقد الأدبى الحديث (جـ١) | رينيه ويليك | مجاهد عبد المنعم مجاهد |
| ٤٨- | حضارة مصر الفرعونية | فرانسوا دوما | ماهر جويجاتى |
| ٤٩- | الإسلام فى البلقان | هـ . ت . نوريس | عبد الوهاب علوب |
| ٥٠- | ألف ليلة وليلة أو القول الأسير | جمال الدين بن الشيخ | محمد برادة وعثمانى الميلود ويوسف الأنطكى |
| ٥١- | مسار الرواية الإسبانو أمريكية | داريو بيانويبا وخ. م بينياليستى | محمد أبو العطا |
| ٥٢- | العلاج النفسى التدعيمى | ب. نوفاليس وس. روجسيفيتز وروجر بيل | لطفى فطيم وعادل دمرداش |
| ٥٣- | الدراما والتعليم | أ . ف . ألنجتون | مرسى سعد الدين |
| ٥٤- | المفهوم الإغريقى للمسرح | ج . مايكل والتون | محسن مصيلحى |
| ٥٥- | ما وراء العلم | چون بولكنجهوم | على يوسف على |
| ٥٦- | الأعمال الشعرية الكاملة (جـ١) | فديريكو غرسية لوركا | محمود على مكى |
| ٥٧- | الأعمال الشعرية الكاملة (جـ٢) | فديريكو غرسية لوركا | محمود السيد و ماهر البطوطى |
| ٥٨- | مسرحيتان | فديريكو غرسية لوركا | محمد أبو العطا |
| ٥٩- | المحبرة (مسرحية) | كارلوس مونييث | السيد السيد سهيم |
| ٦٠- | التصميم والشكل | جوهانز إيتين | صبرى محمد عبد الغنى |
| ٦١- | موسوعة علم الإنسان | شارلوت سيمور - سميث | مراجعة وإشراف : محمد الجوهرى |
| ٦٢- | لذّة النّص | رولان بارت | محمد خير البقاعى . |
| ٦٣- | تاريخ النقد الأدبى الحديث (جـ٢) | رينيه ويليك | مجاهد عبد المنعم مجاهد |
| ٦٤- | برتراند راسل (سيرة حياة) | آلان وود | رمسيس عوض . |
| ٦٥- | فى مدح الكسل ومقالات أخرى | برتراند راسل | رمسيس عوض . |
| ٦٦- | خمس مسرحيات أندلسية | أنطونيو جالا | عبد اللطيف عبد الحليم |
| ٦٧- | مختارات | فرناندو بيسوا | المهدى أخريف |
| ٦٨- | نتاشا العجوز وقصص أخرى | فالنتين راسبوتين | أشرف الصباغ |
| ٦٩- | العالم الإسلامى فى أوائل القرن العشرين | عبد الرشيد إبراهيم | أحمد فؤاد متولى وهويدا محمد فهمى |
| ٧٠- | ثقافة وحضارة أمريكا اللاتينية | أوخينيو تشانج رودريجث | عبد الحميد غلاب وأحمد حشاد |
| ٧١- | السيدة لا تصلح إلا للرمى | داريو فو | حسين محمود |
| ٧٢- | السياسى العجوز | ت . س . إليوت | فؤاد مجلى |
| ٧٣- | نقد استجابة القارئ | چين . ب . تومبكنز | حسن ناظم وعلى حاكم |
| ٧٤- | صلاح الدين والمماليك فى مصر | ل . ا . سيمينوڤا | حسن بيومى |
| ٧٥- | فن التراجم والسير الذاتية | أندريه موروا | أحمد درويش |
| ٧٦- | چاك لاكان وإغواء التحليل النفسى | مجموعة من الكتاب | عبد المقصود عبد الكريم |

| | | | |
|---|---|---|---|
| ٧٧- | تاريخ النقد الأدبي الحديث (جـ٣) | رينيه ويليك | مجاهد عبد المنعم مجاهد |
| ٧٨- | العولمة : النظرية الاجتماعية والثقافة الكونية | رونالد روبرتسون | أحمد محمود ونورا أمين |
| ٧٩- | شعرية التأليف | بوريس أوسبنسكى | سعيد الغانمى وناصر حلاوى |
| ٨٠- | بوشكين عند «نافورة الدموع» | ألكسندر بوشكين | مكارم الغمرى |
| ٨١- | الجماعات المتخيلة | بندكت أندرسن | محمد طارق الشرقاوى |
| ٨٢- | مسرح ميجيل | ميجيل دى أونامونو | محمود السيد على |
| ٨٣- | مختارات | غوتفريد بن | خالد المعالى |
| ٨٤- | موسوعة الأدب والنقد | مجموعة من الكتاب | عبد الحميد شيحة |
| ٨٥- | منصور الحلاج (مسرحية) | صلاح زكى أقطاى | عبد الرازق بركات |
| ٨٦- | طول الليل | جمال مير صادقى | أحمد فتحى يوسف شتا |
| ٨٧- | نون والقلم | جلال آل أحمد | ماجدة العنانى |
| ٨٨- | الابتلاء بالتغرب | جلال آل أحمد | إبراهيم الدسوقى شتا |
| ٨٩- | الطريق الثالث | أنتونى جيدنز | أحمد زايد ومحمد محيى الدين |
| ٩٠- | وسم السيف | ميجل دى ثرباتس | محمد إبراهيم مبروك |
| ٩١- | المسرح والتجريب بين النظرية والتطبيق | باربر الاسوستكا | محمد هناء عبد الفتاح |
| ٩٢- | أساليب ومضامين المسرح الإسبانوأمريكى المعاصر | كارلوس ميجيل | نادية جمال الدين |
| ٩٣- | محدثات العولمة | مايك فيذرستون وسكوت لاش | عبد الوهاب علوب |
| ٩٤- | الحب الأول والصحبة | صمويل بيكيت | فوزية العشماوى |
| ٩٥- | مختارات من المسرح الإسبانى | أنطونيو بويرو باييخو | سرى محمد عبد اللطيف |
| ٩٦- | ثلاث زنبقات ووردة | قصص مختارة | إدوار الخراط |
| ٩٧- | هوية فرنسا (مج١) | فرنان برودل | بشير السباعى |
| ٩٨- | الهم الإنسانى والابتزاز الصهيونى | نخبة | أشرف الصباغ |
| ٩٩- | تاريخ السينما العالمية | ديفيد روبنسون | إبراهيم قنديل |
| ١٠٠- | مساءلة العولمة | بول هيرست وجراهام تومبسون | إبراهيم فتحى |
| ١٠١- | النص الروائى (تقنيات ومناهج) | بيرنار فاليط | رشيد بنحدو |
| ١٠٢- | السياسة والتسامح | عبد الكريم الخطيبى | عز الدين الكتانى الإدريسى |
| ١٠٣- | قبر ابن عربى يليه آياء | عبد الوهاب المؤدب | محمد بنيس |
| ١٠٤- | أوبرا ماهوجنى | برتولت بريشت | عبد الغفار مكاوى |
| ١٠٥- | مدخل إلى النص الجامع | چيرارچينيت | عبد العزيز شبيل |
| ١٠٦- | الأدب الأندلسى | ماريا خيسوس روبييرامتى | أشرف على دعدور |
| ١٠٧- | صورة الفدائى فى الشعر الأمريكى المعاصر | نخبة | محمد عبد الله الجعيدى |
| ١٠٨- | ثلاث دراسات عن الشعر الأندلسى | مجموعة من النقاد | محمود على مكى |
| ١٠٩- | حروب المياه | چون بولوك وعادل درويش | هاشم أحمد محمد |
| ١١٠- | النساء فى العالم النامى | حسنة بيجوم | منى قطان |
| ١١١- | المرأة والجريمة | فرانسيس هيندسون | ريهام حسين إبراهيم |
| ١١٢- | الاحتجاج الهادئ | أرلين علوى ماكليود | إكرام يوسف |
| ١١٣- | راية التمرد | سادى پلانت | أحمد حسان |
| ١١٤- | مسرحيتا حصاد كونجى وسكان المستنقع | وول شوينكا | نسيم مجلى |
| ١١٥- | غرفة تخص المرء وحده | فرچينيا وولف | سمية رمضان |

| | | | |
|---|---|---|---|
| ١١٦- | امرأة مختلفة (درية شفيق) | سينثيا نلسون | نهاد أحمد سالم |
| ١١٧- | المرأة والجنوسة فى الإسلام | ليلى أحمد | منى إبراهيم وهالة كمال |
| ١١٨- | النهضة النسائية فى مصر | بث بارون | لميس النقاش |
| ١١٩- | النساء والأسرة وقوانين الطلاق | أميرة الأزهرى سنبل | بإشراف: رءوف عباس |
| ١٢٠- | الحركة النسائية والتطور فى الشرق الأوسط | ليلى أبو لغد | نخبة من المترجمين |
| ١٢١- | الدليل الصغير عن الكاتبات العربيات | فاطمة موسى | محمد الجندى وإيزابيل كمال |
| ١٢٢- | نظام العبودية القديم ونموذج الإنسان | جوزيف فوجت | منيرة كروان |
| ١٢٣- | الإمبراطورية العثمانية وعلاقاتها الدولية | نينل ألكسندر وفنادولينا | أنور محمد إبراهيم |
| ١٢٤- | الفجر الكاذب | جون جراى | أحمد فؤاد بلبع |
| ١٢٥- | التحليل الموسيقى | سيدريك ثورب ديفى | سمحة الخولى |
| ١٢٦- | فعل القراءة | فولفانج إيسر | عبد الوهاب علوب |
| ١٢٧- | إرهاب | صفاء فتحى | بشير السباعى |
| ١٢٨- | الأدب المقارن | سوزان باسنيت | أميرة حسن نويرة |
| ١٢٩- | الرواية الإسبانية المعاصرة | ماريا دولورس أسيس جاروته | محمد أبو العطا وآخرون |
| ١٣٠- | الشرق يصعد ثانية | أندريه جوندر فرانك | شوقى جلال |
| ١٣١- | مصر القديمة (التاريخ الاجتماعى) | مجموعة من المؤلفين | لويس بقطر |
| ١٣٢- | ثقافة العولمة | مايك فيذرستون | عبد الوهاب علوب |
| ١٣٣- | الخوف من المرايا | طارق على | طلعت الشايب |
| ١٣٤- | تشريح حضارة | بارى ج. كيمب | أحمد محمود |
| ١٣٥- | المختار من نقد ت. س. إليوت | ت. س. إليوت | ماهر شفيق فريد |
| ١٣٦- | فلاحو الباشا | كينيث كونو | سحر توفيق |
| ١٣٧- | مذكرات ضابط فى الحملة الفرنسية | جوزيف مارى مواريه | كاميليا صبحى |
| ١٣٨- | عالم التليفزيون بين الجمال والعنف | إيفلينا تارونى | وجيه سمعان عبد المسيح |
| ١٣٩- | پارسيفال | ريشارد فاجنر | مصطفى ماهر |
| ١٤٠- | حيث تلتقى الأنهار | هربرت ميسن | أمل الجبورى |
| ١٤١- | اثنتا عشرة مسرحية يونانية | مجموعة من المؤلفين | نعيم عطية |
| ١٤٢- | الإسكندرية : تاريخ ودليل | أ. م. فورستر | حسن بيومى |
| ١٤٣- | قضايا التنظير فى البحث الاجتماعى | ديريك لايدار | عدلى السمرى |
| ١٤٤- | صاحبة اللوكاندة | كارلو جولدونى | سلامة محمد سليمان |
| ١٤٥- | موت أرتيميو كروث | كارلوس فوينتس | أحمد حسان |
| ١٤٦- | الورقة الحمراء | ميجيل دى ليبس | على عبدالرءوف البمبى |
| ١٤٧- | خطبة الإدانة الطويلة | تانكريد دورست | عبدالغفار مكاوى |
| ١٤٨- | القصة القصيرة (النظرية والتقنية) | إنريكى أندرسون إمبرت | على إبراهيم منوفى |
| ١٤٩- | النظرية الشعرية عند إليوت وأدونيس | عاطف فضول | أسامة إسبر |
| ١٥٠- | التجربة الإغريقية | روبرت ج. ليتمان | منيرة كروان |
| ١٥١- | هوية فرنسا (مج ٢ ، جـ١) | فرنان برودل | بشير السباعى |
| ١٥٢- | عدالة الهنود وقصص أخرى | نخبة من الكتاب | محمد محمد الخطابى |
| ١٥٣- | غرام الفراعنة | فيولين فانويك | فاطمة عبدالله محمود |
| ١٥٤- | مدرسة فرانكفورت | فيل سليتر | خليل كلفت |

| | | |
|---|---|---|
| ١٥٥- الشعر الأمريكى المعاصر | نخبة من الشعراء | أحمد مرسى |
| ١٥٦- المدارس الجمالية الكبرى | جى آنبال وآلان وأوديت ڤيرمو | مى التلمسانى |
| ١٥٧- خسرو وشيرين | النظامى الكنوجى | عبدالعزيز بقوش |
| ١٥٨- هوية فرنسا (مج ٢ ، جـ٢) | فرنان برودل | بشير السباعى |
| ١٥٩- الإيديولوچية | ديڤيد هوكس | إبراهيم فتحى |
| ١٦٠- آلة الطبيعة | بول إيرليش | حسين بيومى |
| ١٦١- من المسرح الإسبانى | اليخاندرو كاسونا وأنطونيو جالا | زيدان عبدالحليم زيدان |
| ١٦٢- تاريخ الكنيسة | يوحنا الآسيوى | صلاح عبدالعزيز محجوب |
| ١٦٣- موسوعة علم الاجتماع | جوردن مارشال | بإشراف: محمد الجوهرى |
| ١٦٤- شامبوليون (حياة من نور) | چان لاكوتير | نبيل سعد |
| ١٦٥- حكايات الثعلب | أ. ن أفانا سيفا | سهير المصادفة |
| ١٦٦- العلاقات بين المتدينين والعلمانيين فى إسرائيل | يشعياهو ليڤمان | محمد محمود أبو غدير |
| ١٦٧- فى عالم طاغور | رابندرانات طاغور | شكرى محمد عياد |
| ١٦٨- دراسات فى الأدب والثقافة | مجموعة من المؤلفين | شكرى محمد عياد |
| ١٦٩- إبداعات أدبية | مجموعة من المبدعين | شكرى محمد عياد |
| ١٧٠- الطريق | ميغيل دليبيس | بسام ياسين رشيد |
| ١٧١- وضع حد | فرانك بيجو | هدى حسين |
| ١٧٢- حجر الشمس | مختارات | محمد محمد الخطابى |
| ١٧٣- معنى الجمال | ولتر ت. ستيس | إمام عبد الفتاح إمام |
| ١٧٤- صناعة الثقافة السوداء | ايليس كاشمور | أحمد محمود |
| ١٧٥- التليفزيون فى الحياة اليومية | لورينزو فيلشس | وجيه سمعان عبد المسيح |
| ١٧٦- نحو مفهوم للاقتصاديات البيئية | توم تيتنبرج | جلال البنا |
| ١٧٧- أنطون تشيخوف | هنرى ترويا | حصة إبراهيم المنيف |
| ١٧٨- مختارات من الشعر اليونانى الحديث | نخبة من الشعراء | محمد حمدى إبراهيم |
| ١٧٩- حكايات أيسوب | أيسوب | إمام عبد الفتاح إمام |
| ١٨٠- قصة جاويد | إسماعيل فصيح | سليم عبد الأمير حمدان |
| ١٨١- النقد الأدبى الأمريكى | فنسنت ب. ليتش | محمد يحيى |
| ١٨٢- العنف والنبوءة | و.ب. ييتس | ياسين طه حافظ |
| ١٨٣- چان كوكتو على شاشة السينما | رينيه چيلسون | فتحى العشرى |
| ١٨٤- القاهرة... حالمة لا تنام | هانز إبندورفر | دسوقى سعيد |
| ١٨٥- أسفار العهد القديم | توماس تومسن | عبد الوهاب علوب |
| ١٨٦- معجم مصطلحات هيجل | ميخائيل إنوود | إمام عبد الفتاح إمام |
| ١٨٧- الأرضة | بُزرج علوى | محمد علاء الدين منصور |
| ١٨٨- موت الأدب | الفين كرنان | بدر الديب |
| ١٨٩- العمى والبصيرة | پول دى مان | سعيد الغانمى |
| ١٩٠- محاورات كونفوشيوس | كونفوشيوس | محسن سيد فرجانى |
| ١٩١- الكلام رأسمال | الحاج أبو بكر إمام | مصطفى حجازى السيد |
| ١٩٢- سياحت نامه إبراهيم بك (جـ١) | زين العابدين المراغى | محمود سلامة علاوى |
| ١٩٣- عامل المنجم | بيتر أبراهامز | محمد عبد الواحد محمد |

| | | | |
|---|---|---|---|
| ١٩٤- | مختارات من النقد الأنجلو-أمريكى | مجموعة من النقاد | ماهر شفيق فريد |
| ١٩٥- | شتاء ٨٤ | إسماعيل فصيح | محمد علاء الدين منصور |
| ١٩٦- | المهلة الأخيرة | فالتين راسبوتين | أشرف الصباغ |
| ١٩٧- | الفاروق | شمس العلماء شبلى النعمانى | جلال السعيد الحفناوى |
| ١٩٨- | الاتصال الجماهيرى | ادوين إمرى وآخرون | إبراهيم سلامة إبراهيم |
| ١٩٩- | تاريخ يهود مصر فى الفترة العثمانية | يعقوب لانداوى | جمال أحمد الرفاعى وأحمد عبد اللطيف حماد |
| ٢٠٠- | ضحايا التنمية | جيرمى سيبروك | فخزى لبيب |
| ٢٠١- | الجانب الدينى للفلسفة | جوزايا رويس | أحمد الأنصارى |
| ٢٠٢- | تاريخ النقد الأدبى الحديث (جـ٤) | رينيه ويليك | مجاهد عبد المنعم مجاهد |
| ٢٠٣- | الشعر والشاعرية | ألطاف حسين حالى | جلال السعيد الحفناوى |
| ٢٠٤- | تاريخ نقد العهد القديم | زالمان شازار | أحمد محمود هويدى |
| ٢٠٥- | الجينات والشعوب واللغات | لويجى لوقا كافاللى- سفورزا | أحمد مستجير |
| ٢٠٦- | الهيولية تصنع علمًا جديدًا | جيمس جلايك | على يوسف على |
| ٢٠٧- | ليل أفريقى | رامون خوتاسندير | محمد أبو العطا |
| ٢٠٨- | شخصية العربى فى المسرح الإسرائيلى | دان أوريان | محمد أحمد صالح |
| ٢٠٩- | السرد والمسرح | مجموعة من المؤلفين | أشرف الصباغ |
| ٢١٠- | مثنويات حكيم سنائى | سنائى الغزنوى | يوسف عبد الفتاح فرج |
| ٢١١- | فرديناند دوسوسير | جوناثان كلر | محمود حمدى عبد الغنى |
| ٢١٢- | قصص الأمير مرزبان | مرزبان بن رستم بن شروين | يوسف عبدالفتاح فرج |
| ٢١٣- | مصر منذ قدوم نابليون حتى رحيل عبدالناصر | ريمون فلاور | سيد أحمد على الناصرى |
| ٢١٤- | قواعد جديدة للمنهج فى علم الاجتماع | أنتونى جيدنز | محمد محمود محى الدين |
| ٢١٥- | سياحت نامه إبراهيم بك (جـ٢) | زين العابدين المراغى | محمود سلامة علاوى |
| ٢١٦- | جوانب أخرى من حياتهم | مجموعة من المؤلفين | أشرف الصباغ |
| ٢١٧- | مسرحيتان طليعيتان | ص. بيكيت | نادية البنهاوى |
| ٢١٨- | لعبة الحجلة (رايولا) | خوليو كورتازان | على إبراهيم منوفى |
| ٢١٩- | بقايا اليوم | كازو ايشجورو | طلعت الشايب |
| ٢٢٠- | الهيولية فى الكون | بارى باركر | على يوسف على |
| ٢٢١- | شعرية كفافى | جريجورى جوزدانيس | رفعت سلام |
| ٢٢٢- | فرانز كافكا | رونالد جراى | نسيم مجلى |
| ٢٢٣- | العلم فى مجتمع حر | بول فيرابنر | السيد محمد نفادى |
| ٢٢٤- | دمار يوغسلافيا | برانكا ماجاس | منى عبدالظاهر إبراهيم |
| ٢٢٥- | حكاية غريق | جابرييل جارثيا ماركث | السيد عبدالظاهر السيد |
| ٢٢٦- | أرض المساء وقصائد أخرى | ديفيد هربت لورانس | طاهر محمد على البربرى |
| ٢٢٧- | المسرح الإسبانى فى القرن السابع عشر | موسى مارديا ديف بوركى | السيد عبدالظاهر عبدالله |
| ٢٢٨- | علم الجمالية وعلم اجتماع الفن | جانيت وولف | مارى تيريز عبدالمسيح وخالد حسن |
| ٢٢٩- | مأزق البطل الوحيد | نورمان كيجان | أمير إبراهيم العمرى |
| ٢٣٠- | عن الذباب والفئران والبشر | فرانسواز جاكوب | مصطفى إبراهيم فهمى |
| ٢٣١- | الدرافيل | خايمى سالوم بيدال | جمال عبدالرحمن |
| ٢٣٢- | ما بعد المعلومات | توم ستينر | مصطفى إبراهيم فهمى |

| | | | |
|---|---|---|---|
| ٢٣٣- | فكرة الاضمحلال | آرثر هومان | طلعت الشايب |
| ٢٣٤- | الإسلام فى السودان | ج. سبنسر تريمنجهام | فؤاد محمد عكود |
| ٢٣٥- | ديوان شمس تبريزى (جـ١) | مولانا جلال الدين الرومى | إبراهيم الدسوقى شتا |
| ٢٣٦- | الولاية | ميشيل تود | أحمد الطيب |
| ٢٣٧- | مصر أرض الوادى | روبين فيرين | عنايات حسين طلعت |
| ٢٣٨- | العولمة والتحرير | الانكتاد | ياسر محمد جادالله وعربى مدبولى أحمد |
| ٢٣٩- | العربى فى الأدب الإسرائيلى | جيلارافر - رايوخ | نادية سليمان حافظ وإيهاب صلاح فايق |
| ٢٤٠- | الإسلام والغرب وإمكانية الحوار | كامى حافظ | صلاح عبدالعزيز محجوب |
| ٢٤١- | فى انتظار البرابرة | ج . م كويتز | ابتسام عبدالله سعيد |
| ٢٤٢- | سبعة أنماط من الغموض | وليام إمبسون | صبرى محمد حسن عبدالنبى |
| ٢٤٣- | تاريخ إسبانيا الإسلامية (مج١) | ليفى بروفنسال | على عبدالرءوف البمبى |
| ٢٤٤- | الغليان | لاورا إسكيبيل | نادية جمال الدين محمد |
| ٢٤٥- | نساء مقاتلات | إليزابيتا أديس | توفيق على منصور |
| ٢٤٦- | مختارات قصصية | جابرييل جارثيا ماركث | على إبراهيم منوفى |
| ٢٤٧- | الثقافة الجماهيرية والحداثة فى مصر | والتر إرمبريست | محمد طارق الشرقاوى |
| ٢٤٨- | حقول عدن الخضراء | أنطونيو جالا | عبداللطيف عبدالحليم |
| ٢٤٩- | لغة التمزق | دراجو شتامبوك | رفعت سلام |
| ٢٥٠- | علم اجتماع العلوم | دومنيك فينيك | ماجدة محسن أباظة |
| ٢٥١- | موسوعة علم الاجتماع (جـ٢) | جوردن مارشال | بإشراف: محمد الجوهرى |
| ٢٥٢- | رائدات الحركة النسوية المصرية | مارجو بدران | على بدران |
| ٢٥٣- | تاريخ مصر الفاطمية | ل. أ. سيمينوفا | حسن بيومى |
| ٢٥٤- | الفلسفة | ديف روبنسون وجودى جروفز | إمام عبد الفتاح إمام |
| ٢٥٥- | أفلاطون | ديف روبنسون وجودى جروفز | إمام عبد الفتاح إمام |
| ٢٥٦- | ديكارت | ديف روبنسون وكريس جرات | إمام عبد الفتاح إمام |
| ٢٥٧- | تاريخ الفلسفة الحديثة | وليم كلى رايت | محمود سيد أحمد |
| ٢٥٨- | الغجر | سير أنجوس فريزر | عُبادة كُحيلة |
| ٢٥٩- | مختارات من الشعر الأرمنى عبر العصور | اقلام مختلفة | فاروجان كازانجيان |
| ٢٦٠- | موسوعة علم الاجتماع (جـ٣) | جوردن مارشال | بإشراف: محمد الجوهرى |
| ٢٦١- | رحلة فى فكر زكى نجيب محمود | زكى نجيب محمود | إمام عبد الفتاح إمام |
| ٢٦٢- | مدينة المعجزات | إدوارد مندوثا | محمد أبو العطا |
| ٢٦٣- | الكشف عن حافة الزمن | جون جريين | على يوسف على |
| ٢٦٤- | إبداعات شعرية مترجمة | هوراس وشلى | لويس عوض |
| ٢٦٥- | روايات مترجمة | أوسكار وايلد وصموئيل جونسون | لويس عوض |
| ٢٦٦- | مدير المدرسة | جلال آل أحمد | عادل عبدالمنعم سويلم |
| ٢٦٧- | فن الرواية | ميلان كونديرا | بدر الدين عرودكى |
| ٢٦٨- | ديوان شمس تبريزى (جـ٢) | مولانا جلال الدين الرومى | إبراهيم الدسوقى شتا |
| ٢٦٩- | وسط الجزيرة العربية وشرقها (جـ١) | وليم جيفور بالجريف | صبرى محمد حسن |
| ٢٧٠- | وسط الجزير العربية وشرقها (جـ٢) | وليم جيفور بالجريف | صبرى محمد حسن |
| ٢٧١- | الحضارة الغربية | توماس سى. باترسون | شوقى جلال |

| | | | |
|---|---|---|---|
| ٢٧٢- | الأديرة الأثرية فى مصر | س. س والترز | إبراهيم سلامة |
| ٢٧٣- | الاستعمار والثورة فى الشرق الأوسط | جوان أر. لوك | عنان الشهاوى |
| ٢٧٤- | السيدة باربارا | رومولو جلاجوس | محمود على مكى |
| ٢٧٥- | ت. س إليوت شاعراً وناقداً وكاتباً مسرحياً | أقلام مختلفة | ماهر شفيق فريد |
| ٢٧٦- | فنون السينما | فرانك جوتيران | عبد القادر التلمسانى |
| ٢٧٧- | الجينات: الصراع من أجل الحياة | بريان فورد | أحمد فوزى |
| ٢٧٨- | البدايات | إسحق عظيموف | ظريف عبدالله |
| ٢٧٩- | الحرب الباردة الثقافية | ف.س. سوندرز | طلعت الشايب |
| ٢٨٠- | من الأدب الهندى الحديث والمعاصر | بريم شند وآخرون | سمير عبدالحميد |
| ٢٨١- | الفردوس الأعلى | مولانا عبد الحليم شرر الكهنوى | جلال الحفناوى |
| ٢٨٢- | طبيعة العلم غير الطبيعية | لويس ولبيرت | سمير حنا صادق |
| ٢٨٣- | السهل يحترق | خوان رولفو | على البمبى |
| ٢٨٤- | هرقل مجنوناً | يوريبيدس | أحمد عتمان |
| ٢٨٥- | رحلة الخواجة حسن نظامى | حسن نظامى | سمير عبد الحميد |
| ٢٨٦- | سياحت نامه إبراهيم بك (جـ٣) | زين العابدين المراغى | محمود سلامة علاوى |
| ٢٨٧- | الثقافة والعولمة والنظام العالمى | انتونى كنج | محمد يحيى وأخرون |
| ٢٨٨- | الفن الروائى | ديفيد لودج | ماهر البطوطى |
| ٢٨٩- | ديوان منجوهرى الدامغانى | أبو نجم أحمد بن قوص | محمد نور الدين عبدالمنعم |
| ٢٩٠- | علم اللغة والترجمة | جورج مونان | أحمد زكريا إبراهيم |
| ٢٩١- | المسرح الإسبانى فى القرن العشرين (جـ١) | فرانشسكو رويس رامون | السيد عبد الظاهر |
| ٢٩٢- | المسرح الإسبانى فى القرن العشرين (جـ٢) | فرانشسكو رويس رامون | السيد عبد الظاهر |
| ٢٩٣- | مقدمة للأدب العربى | روجر آلن | نخبة من المترجمين |
| ٢٩٤- | فن الشعر | بوالو | رجاء ياقوت صالح |
| ٢٩٥- | سلطان الأسطورة | جوزيف كامبل | بدر الدين حب الله الديب |
| ٢٩٦- | مكبث | وليم شكسبير | محمد مصطفى بدوى |
| ٢٩٧- | فن النحو بين اليونانية والسريانية | ديونيسيوس ثراكس ويوسف الأهوانى | ماجدة محمد أنور |
| ٢٩٨- | مأساة العبيد | أبو بكر تفاوابليوه | مصطفى حجازى السيد |
| ٢٩٩- | ثورة فى التكنولوجيا الحيوية | جين ل. ماركس | هاشم أحمد فؤاد |
| ٣٠٠- | اسطورة بروميثيوس فى الأدبين الإنجليزى والفرنسى (مج١) | لويس عوض | جمال الجزيرى وبهاء چاهين وإيزابيل كمال |
| ٣٠١- | اسطورة بروميثيوس فى الأدبين الإنجليزى والفرنسى (مج٢) | لويس عوض | جمال الجزيرى و محمد الجندى |
| ٣٠٢- | فنجنشتين | جون هيتون وجودى جروفز | إمام عبد الفتاح إمام |
| ٣٠٣- | بوذا | جين هوب وبورن فان لون | إمام عبد الفتاح إمام |
| ٣٠٤- | ماركس | ريوس | إمام عبد الفتاح إمام |
| ٣٠٥- | الجلد | كروزيو مالابارته | صلاح عبد الصبور |
| ٣٠٦- | الحماسة: النقد الكانطى للتاريخ | چان فرانسوا ليوتار | نبيل سعد |
| ٣٠٧- | الشعور | ديفيد بابينو | محمود محمد أحمد |
| ٣٠٨- | علم الوراثة | ستيف جونز | ممدوح عبد المنعم أحمد |
| ٣٠٩- | الذهن والمخ | أنجوس چيلاتى | جمال الجزيرى |
| ٣١٠- | يونج | ناجى هيد | محيى الدين محمد حسن |

| | | | |
|---|---|---|---|
| -٣١١ | مقال فى المنهج الفلسفى | كولنجوود | فاطمة إسماعيل |
| -٣١٢ | روح الشعب الأسود | وليم دى بويز | أسعد حليم |
| -٣١٣ | أمثال فلسطينية | خايير بيان | عبدالله الجعيدى |
| -٣١٤ | الفن كعدم | جينس مينيك | هويدا السباعى |
| -٣١٥ | جرامشى فى العالم العربى | ميشيل برونديندو | كاميليا صبحى |
| -٣١٦ | محاكمة سقراط | آ.ف. ستون | نسيم مجلى |
| -٣١٧ | بلا غد | شير لايموفا- زنيكين | أشرف الصباغ |
| -٣١٨ | الأدب الروسى فى السنوات العشر الأخيرة | نخبة | أشرف الصباغ |
| -٣١٩ | صور دريدا | جايتر ياسبيفاك وكرستوفر نوريس | حسام نايل |
| -٣٢٠ | لمعة السراج فى حضرة التاج | مؤلف مجهول | محمد علاء الدين منصور |
| -٣٢١ | تاريخ إسبانيا الإسلامية (مج٢، جـ١) | ليفى برو فنسال | نخبة من المترجمين |
| -٣٢٢ | وجهات غربية حديثة فى تاريخ الفن | دبليو يوجين كليبناور | خالد مفلح حمزة |
| -٣٢٣ | فن الساتورا | تراث يونانى قديم | هانم سليمان |
| -٣٢٤ | اللعب بالنار | أشرف أسدى | محمود سلامة علاوى |
| -٣٢٥ | عالم الآثار | فيليب بوسان | كرستين يوسف |
| -٣٢٦ | المعرفة والمصلحة | جورجين هابرماس | حسن صقر |
| -٣٢٧ | مختارات شعرية مترجمة (جـ١) | نخبة | توفيق على منصور |
| -٣٢٨ | يوسف وزليخا | نور الدين عبد الرحمن بن أحمد | عبد العزيز بقوش |
| -٣٢٩ | رسائل عيد الميلاد | تد هيوز | محمد عيد إبراهيم |
| -٣٣٠ | كل شيء عن التمثيل الصامت | مارفن شبرد | سامى صلاح |
| -٣٣١ | عندما جاء السردين | ستيفن جراى | سامية دياب |
| -٣٣٢ | القصة القصيرة فى إسبانيا | نخبة | على إبراهيم منوفى |
| -٣٣٣ | الإسلام فى بريطانيا | نبيل مطر | بكر عباس |
| -٣٣٤ | لقطات من المستقبل | آرثر.س كلارك | مصطفى فهمى |
| -٣٣٥ | عصر الشك | ناتالى ساروت | فتحى العشرى |
| -٣٣٦ | متون الأهرام | نصوص قديمة | حسن صابر |
| -٣٣٧ | فلسفة الولاء | جوزايا رويس | أحمد الأنصارى |
| -٣٣٨ | نظرات حائرة (وقصص أخرى من الهند) | نخبة | جلال السعيد الحفناوى |
| -٣٣٩ | تاريخ الأدب فى إيران (جـ٣) | على أصغر حكمت | محمد علاء الدين منصور |
| -٣٤٠ | اضطراب فى الشرق الأوسط | بيرش بيربيروجلو | فخرى لبيب |
| -٣٤١ | قصائد من رلكه | راينر ماريا رلكه | حسن حلمى |
| -٣٤٢ | سلامان وأبسال | نور الدين عبدالرحمن بن أحمد | عبد العزيز بقوش |
| -٣٤٣ | العالم البرجوازى الزائل | نادين جورديمر | سمير عبد ربه |
| -٣٤٤ | الموت فى الشمس | بيتر بلانجوه | سمير عبد ربه |
| -٣٤٥ | الركض خلف الزمن | بونه ندائى | يوسف عبد الفتاح فرج |
| -٣٤٦ | سحر مصر | رشاد رشدى | جمال الجزيرى |
| -٣٤٧ | الصبية الطائشون | جان كوكتو | بكر الحلو |
| -٣٤٨ | المتصوفة الأولون فى الأدب التركى (جـ١) | محمد فؤاد كوبريلى | عبدالله أحمد إبراهيم |
| -٣٤٩ | دليل القارئ إلى الثقافة الجادة | آرثر والدرون وآخرون | أحمد عمر شاهين |

| | | |
|---|---|---|
| ٣٥٠- بانوراما الحياة السياحية | أقلام مختلفة | عطية شحاتة |
| ٣٥١- مبادئ المنطق | جوزايا رويس | أحمد الانصارى |
| ٣٥٢- قصائد من كفافيس | قسطنطين كفافيس | نعيم عطية |
| ٣٥٣- الفن الإسلامى فى الأندلس (الزخرفة الهندسية) | باسيليو بابون مالدوناند | على إبراهيم منوفى |
| ٣٥٤- الفن الإسلامى فى الأندلس (الزخرفة النباتية) | باسيليو بابون مالدوناند | على إبراهيم منوفى |
| ٣٥٥- التيارات السياسية فى إيران | حجت مرتضى | محمود سلامة علاوى |
| ٣٥٦- الميراث المر | بول سالم | بدر الرفاعى |
| ٣٥٧- متون هيرميس | نصوص قديمة | عمر الفاروق عمر |
| ٣٥٨- أمثال الهوسا العامية | نخبة | مصطفى حجازى السيد |
| ٣٥٩- محاورات بارمنيدس | أفلاطون | حبيب الشارونى |
| ٣٦٠- أنثروبولوجيا اللغة | أندريه جاكوب ونويلا باركان | ليلى الشربينى |
| ٣٦١- التصحر: التهديد والمجابهة | آلان جرينجر | عاطف معتمد وآمال شاور |
| ٣٦٢- تلميذ بابنيبرج | هاينرش شبورال | سيد أحمد فتح الله |
| ٣٦٣- حركات التحرير الأفريقية | ريتشارد جيبسون | صبرى محمد حسن |
| ٣٦٤- حداثة شكسبير | إسماعيل سراج الدين | نجلاء أبو عجاج |
| ٣٦٥- سأم باريس | شارل بودلير | محمد أحمد حمد |
| ٣٦٦- نساء يركضن مع الذئاب | كلاريسا بنكولا | مصطفى محمود محمد |
| ٣٦٧- القلم الجرىء | نخبة | البرّاق عبدالهادى رضا |
| ٣٦٨- المصطلح السردى | جيرالد برنس | عابد خزندار |
| ٣٦٩- المرأة فى أدب نجيب محفوظ | فوزية العشماوى | فوزية العشماوى |
| ٣٧٠- الفن والحياة فى مصر الفرعونية | كليرلا لويت | فاطمة عبدالله محمود |
| ٣٧١- المتصوفة الأولون فى الأدب التركى (جـ٢) | محمد فؤاد كوبريلى | عبدالله أحمد إبراهيم |
| ٣٧٢- عاش الشباب | وانغ مينغ | وحيد السعيد عبدالحميد |
| ٣٧٣- كيف تعد رسالة دكتوراه | أمبرتو إيكو | على إبراهيم منوفى |
| ٣٧٤- اليوم السادس | أندريه شديد | حمادة إبراهيم |
| ٣٧٥- الخلود | ميلان كونديرا | خالد أبو اليزيد |
| ٣٧٦- الغضب وأحلام السنين | نخبة | إدوار الخراط |
| ٣٧٧- تاريخ الأدب فى إيران (جـ٤) | على أصغر حكمت | محمد علاء الدين منصور |
| ٣٧٨- المسافر | محمد إقبال | يوسف عبدالفتاح فرج |
| ٣٧٩- ملك فى الحديقة | سنيل باث | جمال عبدالرحمن |
| ٣٨٠- حديث عن الخسارة | جونتر جراس | شيرين عبدالسلام |
| ٣٨١- أساسيات اللغة | ر. ل. تراسك | رانيا إبراهيم يوسف |
| ٣٨٢- تاريخ طبرستان | بهاء الدين محمد إسفنديار | أحمد محمد نادى |
| ٣٨٣- هدية الحجاز | محمد إقبال | سمير عبدالحميد إبراهيم |
| ٣٨٤- القصص التى يحكيها الأطفال | سوزان إنجيل | إيزابيل كمال |
| ٣٨٥- مشترى العشق | محمد على بهزادراد | يوسف عبدالفتاح فرج |
| ٣٨٦- دفاعًا عن التاريخ الأدبى النسوى | جانيت تود | ريهام حسين إبراهيم |
| ٣٨٧- أغنيات وسوناتات | چون دن | بهاء چاهين |
| ٣٨٨- مواعظ سعدى الشيرازى | سعدى الشيرازى | محمد علاء الدين منصور |

| | | | |
|---|---|---|---|
| ٣٨٩- | من الأدب الباكستانى المعاصر | نخبة | سمير عبدالحميد إبراهيم |
| ٣٩٠- | الأرشيفات والمدن الكبرى | نخبة | عثمان مصطفى عثمان |
| ٣٩١- | الحافلة الليلكية | مايف بينشى | منى الدروبى |
| ٣٩٢- | مقامات ورسائل أندلسية | نخبة | عبداللطيف عبدالحليم |
| ٣٩٣- | فى قلب الشرق | ندوة لويس ماسينيون | زينب محمود الخضيرى |
| ٣٩٤- | القوى الأربع الأساسية فى الكون | بول ديفيز | هاشم أحمد محمد |
| ٣٩٥- | آلام سياوش | إسماعيل فصيح | سليم حمدان |
| ٣٩٦- | السافاك | تقى نجارى راد | محمود سلامة علاوى |
| ٣٩٧- | نيتشه | لورانس جين | إمام عبدالفتاح إمام |
| ٣٩٨- | سارتر | فيليب تودى | إمام عبدالفتاح إمام |
| ٣٩٩- | كامى | ديفيد ميروفتس | إمام عبدالفتاح إمام |
| ٤٠٠- | مومو | مشيائيل إنده | باهر الجوهرى |
| ٤٠١- | الرياضيات | زيادون ساردر | ممدوح عبد المنعم |
| ٤٠٢- | هوكنج | ج. ب. ماك ايفوى | ممدوح عبدالمنعم |
| ٤٠٣- | ربة المطر والملابس تصنع الناس | تودور شتورم | عماد حسن بكر |
| ٤٠٤- | تعويذة الحسى | ديفيد إبرام | ظبية خميس |
| ٤٠٥- | إيزابيل | أندريه جيد | حمادة إبراهيم |
| ٤٠٦- | المستعربون الإسبان فى القرن ١٩ | مانويلا مانتاناريس | جمال عبد الرحمن |
| ٤٠٧- | الأدب الإسبانى المعاصر بأقلام كتابه | أقلام مختلفة | طلعت شاهين |
| ٤٠٨- | معجم تاريخ مصر | جوان فوتشركنج | عنان الشهاوى |
| ٤٠٩- | انتصار السعادة | برتراند راسل | إلهامى عمارة |
| ٤١٠- | خلاصة القرن | كارل بوبر | الزواوى بغورة |
| ٤١١- | همس من الماضى | جينيفر أكرمان | أحمد مستجير |
| ٤١٢- | تاريخ إسبانيا الإسلامية (مج٢، جـ٢) | ليفى بروفنسال | نخبة |
| ٤١٣- | أغنيات المنفى | ناظم حكمت | محمد البخارى |
| ٤١٤- | الجمهورية العالمية للآداب | باسكال كازانوفا | أمل الصبان |
| ٤١٥- | صورة كوكب | فريدريش دورنيمات | أحمد كامل عبدالرحيم |
| ٤١٦- | مبادئ النقد الأدبى والعلم والشعر | أ. أ. رتشاردز | مصطفى بدوى |
| ٤١٧- | تاريخ النقد الأدبى الحديث (جـ٥) | رينيه ويليك | مجاهد عبدالمنعم مجاهد |
| ٤١٨- | سياسات الزمر الحاكمة فى مصر العثمانية | جين هاثواى | عبد الرحمن الشيخ |
| ٤١٩- | العصر الذهبى للإسكندرية | جون مايو | نسيم مجلى |
| ٤٢٠- | مكرو ميجاس | فولتير | الطيب بن رجب |
| ٤٢١- | الولاء والقيادة | رؤى متحدة | أشرف محمد كيلانى |
| ٤٢٢- | رحلة لاستكشاف أفريقيا (جـ١) | نخبة | عبدالله عبدالرازق إبراهيم |
| ٤٢٣- | إسراءات الرجل الطيف | نخبة | وحيد النقاش |
| ٤٢٤- | لوائح الحق ولوامع العشق | نور الدين عبدالرحمن الجامى | محمد علاء الدين منصور |
| ٤٢٥- | من طاووس إلى فرح | محمود طلوعى | محمودد سلامة علاوى |
| ٤٢٦- | الخفافيش وقصص أخرى | نخبة | محمد علاء الدين منصور وعبد الحفيظ يعقوب |
| ٤٢٧- | بانديراس الطاغية | باى إنكلان | ثريا شلبى |

| | | | |
|---|---|---|---|
| ٤٢٨- | الخزانة الخفية | محمد هوتك | محمد أمان صافى |
| ٤٢٩- | هيجل | ليود سبنسر وأندرزجى كروز | إمام عبدالفتاح إمام |
| ٤٣٠- | كانط | كرستوفر وانت وأندرزجى كليموفسكى | إمام عبدالفتاح إمام |
| ٤٣١- | فوكو | كريس هوروكس وزوران جفتيك | إمام عبدالفتاح إمام |
| ٤٣٢- | ماكياڤللى | باتريك كيرى وأوسكار زاريت | إمام عبدالفتاح إمام |
| ٤٣٣- | جويس | ديفيد نوريس وكارل فلنت | حمدى الجابرى |
| ٤٣٤- | الرومانسية | دونكان هيث وجودن بورهام | عصام حجازى |
| ٤٣٥- | توجهات ما بعد الحداثة | نيكولاس زربرج | ناجى رشوان |
| ٤٣٦- | تاريخ الفلسفة (مج١) | فردريك كوبلستون | إمام عبدالفتاح إمام |
| ٤٣٧- | رحالة هندى فى بلاد الشرق | شبلى النعمانى | جلال السعيد الحفناوى |
| ٤٣٨- | بطلات وضحايا | إيمان ضياء الدين بيبرس | عايدة سيف الدولة |
| ٤٣٩- | موت المرابى | صدر الدين عينى | محمد علاء الدين منصور وعبد الحفيظ يعقوب |
| ٤٤٠- | قواعد اللهجات العربية | كرستن بروستاد | محمد طارق الشرقاوى |
| ٤٤١- | رب الأشياء الصغيرة | أرونداتى روى | فخرى لبيب |
| ٤٤٢- | حتشبسوت (المرأة الفرعونية) | فوزية أسعد | ماهر جويجاتى |
| ٤٤٣- | اللغة العربية | كيس فرستيغ | محمد طارق الشرقاوى |
| ٤٤٤- | أمريكا اللاتينية: الثقافات القديمة | لاوريت سيجورنه | صالح علمانى |
| ٤٤٥- | حول وزن الشعر | پرويز ناتل خانلرى | محمد محمد يونس |
| ٤٤٦- | التحالف الأسود | ألكسندر كوكبرن وجيفرى سانت كلير | أحمد محمود |
| ٤٤٧- | نظرية الكم | ج. پ. ماك إيڤوى | ممدوح عبدالمنعم |
| ٤٤٨- | علم نفس التطور | ديلان إيڤانز وأوسكار زاريت | ممدوح عبدالمنعم |
| ٤٤٩- | الحركة النسائية | نخبة | جمال الجزيرى |
| ٤٥٠- | ما بعد الحركة النسائية | صوفيا فوكا وريبيكا رايت | جمال الجزيرى |
| ٤٥١- | الفلسفة الشرقية | ريتشارد أوزبورن وبورن ڤان لون | إمام عبد الفتاح إمام |
| ٤٥٢- | لينين والثورة الروسية | ريتشارد إيجناترى وأوسكار زاريت | محيى الدين مزيد |
| ٤٥٣- | القاهرة: إقامة مدينة حديثة | جان لوك أرنو | حليم طوسون وفؤاد الدهان |
| ٤٥٤- | خمسون عامًا من السينما الفرنسية | رينيه بريدال | سوزان خليل |
| ٤٥٥- | تاريخ الفلسفة الحديثة (مج٥) | فردريك كوبلستون | محمود سيد أحمد |
| ٤٥٦- | لا تنسنى | مريم جعفرى | هويدا عزت محمد |
| ٤٥٧- | النساء فى الفكر السياسى الغربى | سوزان موللر أوكين | إمام عبدالفتاح إمام |
| ٤٥٨- | الموريسكيون الأندلسيون | مرثيدس غارثيا أرينال | جمال عبد الرحمن |
| ٤٥٩- | نحو مفهوم لاقتصاديات الموارد الطبيعية | توم تيتنبرج | جلال البنا |
| ٤٦٠- | الفاشية والنازية | ستوارت هود وليتزا جانستز | إمام عبدالفتاح إمام |
| ٤٦١- | لكان | داريان ليدر وجودى جروفز | إمام عبدالفتاح إمام |
| ٤٦٢- | طه حسين من الأزهر إلى السوربون | عبدالرشيد الصادق محمودى | عبدالرشيد الصادق محمودى |
| ٤٦٣- | الدولة المارقة | ويليام بلوم | كمال السيد |
| ٤٦٤- | ديمقراطية للقلة | مايكل بارنتى | حصة إبراهيم المنيف |
| ٤٦٥- | قصص اليهود | لويس جنزبرج | جمال الرفاعى |
| ٤٦٦- | حكايات حب وبطولات فرعونية | فيولين فانويك | فاطمة محمود |

| | | |
|---|---|---|
| ٤٦٧- التفكير السياسى | ستيفين ديلو | ربيع وهبة |
| ٤٦٨- روح الفلسفة الحديثة | جوزايا رويس | أحمد الأنصارى |
| ٤٦٩- جلال الملوك | نصوص حبشية قديمة | مجدى عبدالرازق |
| ٤٧٠- الأراضى والجودة البيئية | نخبة | محمد السيد النتة |
| ٤٧١- رحلة لاستكشاف أفريقيا (جـ٢) | نخبة | عبد الله عبد الرازق إبراهيم |
| ٤٧٢- دون كيخوتى (القسم الأول) | ميجيل دى ثربانتس سابيدرا | سليمان العطار |
| ٤٧٣- دون كيخوتى (القسم الثانى) | ميجيل دى ثربانتس سابيدرا | سليمان العطار |
| ٤٧٤- الأدب والنسوية | بام موريس | سهام عبدالسلام |
| ٤٧٥- صوت مصر: أم كلثوم | فرجينيا دانيلسون | عادل هلال عنانى |
| ٤٧٦- أرض الحبايب بعيدة: بيرم التونسى | ماريلين بوث | سحر توفيق |
| ٤٧٧- تاريخ الصين | هيلدا هوخام | أشرف كيلانى |
| ٤٧٨- الصين والولايات المتحدة | ليوشيه شنج و لى شى دونج | عبد العزيز حمدى |
| ٤٧٩- المقهـــى (مسرحية صينية) | لاوشه | عبد العزيز حمدى |
| ٤٨٠- تساى ون جى (مسرحية صينية) | كو مو روا | عبد العزيز حمدى |
| ٤٨١- عباءة النبى | روى متحدة | رضوان السيد |
| ٤٨٢- موسوعة الأساطير والرموز الفرعونية | روبير جاك تيبو | فاطمة محمود |
| ٤٨٣- النسوية وما بعد النسوية | سارة چامبل | أحمد الشامى |
| ٤٨٤- جمالية التلقى | هانسن روبيرت ياوس | رشيد بنحدو |
| ٤٨٥- التوبة (رواية) | نذير أحمد الدهلوى | سمير عبدالحميد إبراهيم |
| ٤٨٦- الذاكرة الحضارية | يان أسمن | عبدالحليم عبدالغنى رجب |
| ٤٨٧- الرحلة الهندية إلى الجزيرة العربية | رفيع الدين المراد آبادى | سمير عبدالحميد إبراهيم |
| ٤٨٨- الحب الذى كان وقصائد أخرى | نخبة | سمير عبدالحميد إبراهيم |
| ٤٨٩- هُسِّرل: الفلسفة علمًا دقيقًا | هُسِّرل | محمود رجب |
| ٤٩٠- أسمار الببغاء | محمد قادرى | عبد الوهاب علوب |
| ٤٩١- نصوص قصصية من روائع الأدب الأفريقى | نخبة | سمير عبد ربه |
| ٤٩٢- محمد على مؤسس مصر الحديثة | جى فارجيت | محمد رفعت عواد |
| ٤٩٣- خطابات إلى طالب الصوتيات | هارولد بالمر | محمد صالح الضالع |
| ٤٩٤- كتاب الموتى (الخروج فى النهار) | نصوص مصرية قديمة | شريف الصيفى |
| ٤٩٥- اللوبى | إدوارد تيفان | حسن عبد ربه المصرى |
| ٤٩٦- الحكم والسياسة فى أفريقيا (جـ١) | إكوانو بانولى | نخبة |
| ٤٩٧- العلمانية والنوع والدولة فى الشرق الأوسط | نادية العلىّ | مصطفى رياض |
| ٤٩٨- النساء والنوع فى الشرق الأوسط الحديث | جوديث تاكر ومارجريت مريودز | أحمد على بدوى |
| ٤٩٩- تقاطعات: الأمة والمجتمع والجنس | نخبة | فيصل بن خضراء |
| ٥٠٠- فى طفولتى (دراسة فى السيرة الذاتية العربية) | تيتز رووكى | طلعت الشايب |
| ٥٠١- تاريخ النساء فى الغرب (جـ١) | أرثر جولد هامر | سحر فراج |
| ٥٠٢- أصوات بديلة | هدى الصدّة | هالة كمال |
| ٥٠٣- مختارات من الشعر الفارسى الحديث | نخبة | محمد نور الدين عبدالمنعم |
| ٥٠٤- كتابات أساسية (جـ١) | مارتن هايدجر | إسماعيل المصدق |
| ٥٠٥- كتابات أساسية (جـ٢) | مارتن هايدجر | إسماعيل المصدق |

| | | | |
|---|---|---|---|
| ٥٠٦- | ربما كان قديسًا | آن تيلر | عبدالحميد فهمى الجمال |
| ٥٠٧- | سيدة الماضى الجميل | بيتر شيفر | شوقى فهيم |
| ٥٠٨- | المولوية بعد جلال الدين الرومى | عبدالباقى جلبنارلى | عبدالله أحمد إبراهيم |
| ٥٠٩- | الفقر والإحسان فى عهد سلاطين المماليك | آدم صبرة | قاسم عبده قاسم |
| ٥١٠- | الأرملة الماكرة | كارلو جولدونى | عبدالرازق عيد |
| ٥١١- | كوكب مرقَّع | آن تيلر | عبدالحميد فهمى الجمال |
| ٥١٢- | كتابة النقد السينمائى | تيموثى كوريجان | جمال عبد الناصر |
| ٥١٣- | العلم الجسور | تيد أنتون | مصطفى إبراهيم فهمى |
| ٥١٤- | مدخل إلى النظرية الأدبية | جونثان كولر | مصطفى بيومى عبد السلام |
| ٥١٥- | من التقليد إلى ما بعد الحداثة | فدوى مالطى دوجلاس | فدوى مالطى دوجلاس |
| ٥١٦- | إرادة الإنسان فى شفاء الإدمان | أرنولد واشنطون وودونا باوندى | صبرى محمد حسن |
| ٥١٧- | نقش على الماء وقصص أخرى | نخبة | سمير عبد الحميد إبراهيم |
| ٥١٨- | استكشاف الأرض والكون | إسحق عظيموف | هاشم أحمد محمد |
| ٥١٩- | محاضرات فى المثالية الحديثة | جوزايا رويس | أحمد الأنصارى |
| ٥٢٠- | الولع بمصر من الحلم إلى المشروع | أحمد يوسف | أمل الصبان |
| ٥٢١- | قاموس تراجم مصر الحديثة | آرثر جولد سميث | عبدالوهاب بكر |
| ٥٢٢- | إسبانيا فى تاريخها | أميركو كاسترو | على إبراهيم منوفى |
| ٥٢٣- | الفن الطليطلى الإسلامى والمدجن | باسيليو بابون مالدونادو | على إبراهيم منوفى |
| ٥٢٤- | الملك لير | وليم شكسبير | محمد مصطفى بدوى |
| ٥٢٥- | موسم صيد فى بيروت وقصص أخرى | دنيس جونسون رزيفز | نادية رفعت |
| ٥٢٦- | علم السياسة البيئية | ستيفن كرول ووليم رانكين | محيى الدين مزيد |
| ٥٢٧- | كافكا | ديفيد زين ميروفتس وروبرت كرمب | جمال الجزيرى |
| ٥٢٨- | تروتسكى والماركسية | طارق على وفلْ إيفانز | جمال الجزيرى |
| ٥٢٩- | بدائع العلامة إقبال فى شعره الأردى | محمد إقبال | حازم محفوظ وحسين نجيب المصرى |
| ٥٣٠- | مدخل عام إلى فهم النظريات التراثية | رينيه جينو | عمر الفاروق عمر |
| ٥٣١- | ما الذى حَدَثَ فى «حَدَث» ١١ سبتمبر؟ | چاك دريدا | صفاء فتحى |
| ٥٣٢- | المغامرُ والمستشرق | هنرى لورنس | بشير السباعى |
| ٥٣٣- | تعلُّم اللغة الثانية | سوزان جاس | محمد الشرقاوى |
| ٥٣٤- | الإسلاميون الجزائريون | سيڤرين لابا | حمادة إبراهيم |
| ٥٣٥- | مخزن الأسرار | نظامى الكنجوى | عبدالعزيز بقوش |
| ٥٣٦- | الثقافات وقيم التقدم | صمويل هنتنجتون | شوقى جلال |
| ٥٣٧- | للحب والحرية | نخبة | عبدالغفار مكاوى |
| ٥٣٨- | النفس والآخر فى قصص يوسف الشارونى | كيت دانيلر | محمد الحديدى |
| ٥٣٩- | خمس مسرحيات قصيرة | كاريل تشرشل | محسن مصيلحى |
| ٥٤٠- | توجهات بريطانية - شرقية | السير رونالد ستورس | رءوف عباس |
| ٥٤١- | هى تتخيل وهلاوس أخرى | خوان خوسيه مياس | مروة رزق |
| ٥٤٢- | قصص مختارة من الأدب اليونانى الحديث | نخبة | نعيم عطية |
| ٥٤٣- | السياسة الأمريكية | باتريك بروجان وكريس جرات | وفاء عبدالقادر |
| ٥٤٤- | ميلانى كلاين | نخبة | حمدى الجابرى |

| | | | |
|---|---|---|---|
| ٥٤٥- | يا له من سباق محموم | فرانسيس كريك | عزت عامر |
| ٥٤٦- | ريموس | ت. ب. وايزمان | توفيق على منصور |
| ٥٤٧- | بارت | فيليب ثودى وآن كورس | جمال الجزيرى |
| ٥٤٨- | علم الاجتماع | ريتشارد أوزبرن وبورن فان لون | حمدى الجابرى |
| ٥٤٩- | علم العلامات | بول كوبلى وليتاجانز | جمال الجزيرى |
| ٥٥٠- | شكسبير | نيك جروم وبيرو | حمدى الجابرى |
| ٥٥١- | الموسيقى والعولمة | سايمون ماندى | سمحة الخولى |
| ٥٥٢- | قصص مثالية | ميجيل دى ثربانتس | على عبد الرءوف البمبى |
| ٥٥٣- | مدخل للشعر الفرنسى الحديث والمعاصر | دانيال لوفرس | رجاء ياقوت |
| ٥٥٤- | مصر فى عهد محمد على | عفاف لطفى السيد مارسوه | عبدالسميع عمر زين الدين |
| ٥٥٥- | الإستراتيجية الأمريكية للقرن الحادى والعشرين | أناتولى أوتكين | أنور محمد إبراهيم ومحمد نصرالدين الجبالى |
| ٥٥٦- | چان بودريار | كريس هوروكس وزوران جيفتك | حمدى الجابرى |
| ٥٥٧- | الماركيز دى ساد | ستوارت هود وجراهام كرولى | إمام عبدالفتاح إمام |
| ٥٥٨- | الدراسات الثقافية | زيودين ساردارويورين ڤان لون | إمام عبدالفتاح إمام |
| ٥٥٩- | الماس الزائف | تشا تشاجى | عبدالحى أحمد سالم |
| ٥٦٠- | صلصلة الجرس | نخبة | جلال السعيد الحفناوى |
| ٥٦١- | جناح جبريل | محمد إقبال | جلال السعيد الحفناوى |
| ٥٦٢- | بلايين وبلايين | كارل ساجان | عزت عامر |
| ٥٦٣- | ورود الخريف | خاثينتو بينابينتى | صبرى محمدى التهامى |
| ٥٦٤- | عُش الغريب | خاثينتو بينابينتى | صبرى محمدى التهامى |
| ٥٦٥- | الشرق الأوسط المعاصر | ديبورا . ج. جيرنر | أحمد عبدالحميد أحمد |
| ٥٦٦- | تاريخ أوروبا فى العصور الوسطى | موريس بيشوب | على السيد على |
| ٥٦٧- | الوطن المغتصب | مايكل رايس | إبراهيم سلامة إبراهيم |
| ٥٦٨- | الأصولى فى الرواية | عبد السلام حيدر | عبد السلام حيدر |
| ٥٦٩- | موقع الثقافة | هومى. ك. بابا | ثائر ديب |
| ٥٧٠- | دول الخليج الفارسى | سير روبرت هاى | يوسف الشارونى |
| ٥٧١- | تاريخ النقد الإسبانى المعاصر | إيميليا دى ثوليتا | السيد عبد الظاهر |
| ٥٧٢- | الطب فى زمن الفراعنة | برونو أليوا | كمال السيد |
| ٥٧٣- | فرويد | ريتشارد ابيجنانس وأسكار زارتى | جمال الجزيرى |
| ٥٧٤- | مصر القديمة فى عيون الإيرانيين | حسن بيرنيا | علاء الدين عبد العزيز السباعى |
| ٥٧٥- | الاقتصاد السياسى للعولمة | نجير وودز | أحمد محمود |
| ٥٧٦- | فكر ثربانتس | أمريكو كاسترو | ناهد العشرى محمد |
| ٥٧٧- | مغامرات بينوكيو | كارلو كولودى | محمد قدرى عمارة |
| ٥٧٨- | الجماليات عند كيتس وهنت | أيومى ميزوكوشى | محمد إبراهيم وعصام عبد الروف |
| ٥٧٩- | تشومسكى | چون ماهر وچودى جرونز | محيى الدين مزيد |
| ٥٨٠- | دائرة المعارف الدولية (جـ١) | جون فيزر وبول سيترجز | محمد فتحى عبدالهادى |
| ٥٨١- | الحمقى يموتون | ماريو بوزو | سليم عبد الأمير حمدان |
| ٥٨٢- | مرايا الذات | هوشنك كلشيرى | سليم عبد الأمير حمدان |
| ٥٨٣- | الجيران | أحمد محمود | سليم عبد الأمير حمدان |

| | | | |
|---|---|---|---|
| ٥٨٤- | سفر | محمود دولت أبادى | سليم عبد الأمير حمدان |
| ٥٨٥- | الأمير احتجاب | هوشنك كلشيرى | سليم عبد الأمير حمدان |
| ٥٨٦- | السينما العربية والأفريقية | ليزبيث مالكموس وروى أرمز | سهام عبد السلام |
| ٥٨٧- | تاريخ تطور الفكر الصينى | نخبة | عبدالعزيز حمدى |
| ٥٨٨- | أمنحوتب الثالث | آنييس كابرول | ماهر جويجاتى |
| ٥٨٩- | تمبكت العجيبة | فيلكس ديبواه | عبدالله عبدالرازق إبراهيم |
| ٥٩٠- | أساطير من الموروثات الشعبية الفنلندية | نخبة | محمود مهدى عبدالله |
| ٥٩١- | الشاعر والمفكر | هوراتيوس | على عبدالتواب على وصلاح رمضان السيد |
| ٥٩٢- | الثورة المصرية | محمد صبرى السوربونى | مجدى عبدالحافظ وعلى كورخان |
| ٥٩٣- | قصائد ساحرة | بول فاليرى | بكر الحلو |
| ٥٩٤- | القلب السمين | سوزانا تامارو | أمانى فوزى |
| ٥٩٥- | الحكم والسياسة فى أفريقيا (جـ٢) | إكوادو بانولى | نخبة |
| ٥٩٦- | الصحة العقلية فى العالم | روبرت ديجارليه وآخرون | إيهاب عبدالرحيم محمد |
| ٥٩٧- | مسلمو غرناطة | خوليو كاروباروخا | جمال عبدالرحمن |
| ٥٩٨- | مصر وكنعان وإسرائيل | دونالد ريدفورد | بيومى على قنديل |
| ٥٩٩- | فلسفة الشرق | هرداد مهرين | محمود سلامة علاوى |
| ٦٠٠- | الإسلام فى التاريخ | برنارد لويس | مدحت طه |
| ٦٠١- | النسوية والمواطنة | ريان فوت | أيمن بكر وسمر الشيشكلى |
| ٦٠٢- | ليوتار:نحو فلسفة ما بعد حداثية | چيمس وليامز | إيمان عبدالعزيز |
| ٦٠٣- | النقد الثقافى | آرثر أيزابرجر | وفاء إبراهيم ورمضان بسطاويسى |
| ٦٠٤- | الكوارث الطبيعية (جـ١) | باتريك ل. أبوت | توفيق على منصور |
| ٦٠٥- | مخاطر كوكبنا المضطرب | إرنست زيبروسكى الصغير | مصطفى إبراهيم فهمى |
| ٦٠٦- | قصة البردى اليونانى فى مصر | ريتشارد هاريس | محمود إبراهيم السعدنى |
| ٦٠٧- | قلب الجزيرة العربية (جـ١) | هارى سينت فيلبى | صبرى محمد حسن |
| ٦٠٨- | قلب الجزيرة العربية (جـ٢) | هارى سينت فيلبى | صبرى محمد حسن |
| ٦٠٩- | الانتخاب الثقافى | أجنر فوج | شوقى جلال |
| ٦١٠- | العمارة المدجنة | رفائيل لوبث جوثمان | على إبراهيم منوفى |
| ٦١١- | النقد والأيديولوچية | تيرى إيجلتون | فخرى صالح |
| ٦١٢- | رسالة النفسية | فضل الله بن حامد الحسينى | محمد محمد يونس |
| ٦١٣- | السياحة والسياسة | كولن مايكل هول | محمد فريد حجاب |
| ٦١٤- | بيت الأقصر الكبير | فوزية أسعد | منى قطان |
| ٦١٥- | عرض الأحداث التى وقعت فى بغداد | أليس بسيرينى | محمد رفعت عواد |
| ٦١٦- | أساطير بيضاء | روبرت يانج | أحمد محمود |
| ٦١٧- | الفولكلور والبحر | هوراس بيك | أحمد محمود |
| ٦١٨- | نحو مفهوم لاقتصاديات الصحة | تشارلز فيلبس | جلال البنا |
| ٦١٩- | مفاتيح أورشليم القدس | ريمون استانبولى | عايدة الباجورى |
| ٦٢٠- | السلام الصليبى | توماش ماستناك | بشير السباعى |
| ٦٢١- | النوبة المعبر الحضارى | وليم. ى. آدمز | فؤاد عكود |
| ٦٢٢- | أشعار من عالم اسمه الصين | أى تشينغ | أمير نبيه وعبدالرحمن حجازى |

| | | | |
|---|---|---|---|
| ٦٢٣- | نوادر جحا الإيرانى | سعيد قانعى | يوسف عبدالفتاح |
| ٦٢٤- | أزمة العالم الحديث | رينيه جينو | عمر الفاروق |
| ٦٢٥- | الجرح السرى | جان جينيه | محمد برادة |
| ٦٢٦- | مختارات شعرية مترجمة (جـ٢) | نخبة | توفيق على منصور |
| ٦٢٧- | حكايات إيرانية | نخبة | عبدالوهاب علوب |
| ٦٢٨- | أصل الأنواع | تشارلس داروين | مجدى محمود المليجى |
| ٦٢٩- | قرن آخر من الهيمنة الأمريكية | نيقولاس جويات | عزة الخميسى |
| ٦٣٠- | سيرتى الذاتية | أحمد بللو | صبرى محمد حسن |
| ٦٣١- | مختارات من الشعر الأفريقى المعاصر | نخبة | بإشراف: حسن طلب |
| ٦٣٢- | المسلمون واليهود فى مملكة فالنسيا | دولورس برامون | رانيا محمد |
| ٦٣٣- | الحب وفنونه | نخبة | حمادة إبراهيم |
| ٦٣٤- | مكتبة الإسكندرية | روى ماكلويد وإسماعيل سراج الدين | مصطفى البهنساوى |
| ٦٣٥- | التثبيت والتكيف فى مصر | جودة عبد الخالق | سمير كريم |
| ٦٣٦- | حج يولندة | جناب شهاب الدين | سامية محمد جلال |
| ٦٣٧- | مصر الخديوية | ف. روبرت هنتر | بدر الرفاعى |
| ٦٣٨- | الديمقراطية والشعر | روبرت بن ورين | فؤاد عبد المطلب |
| ٦٣٩- | فندق الأرق | تشارلز سيميك | أحمد شافعى |
| ٦٤٠- | ألكسياد | الأميرة أنّاكومنينا | حسن حبشى |
| ٦٤١- | برتراندرسل (مختارات) | برتراند رسل | محمد قدرى عمارة |
| ٦٤٢- | داروين والتطور | جوناثان ميلر وبورين فان لون | ممدوح عبد المنعم |
| ٦٤٣- | سفرنامه حجاز | عبد الماجد الدريابادى | سمير عبدالحميد إبراهيم |
| ٦٤٤- | العلوم عند المسلمين | هوارد د.تيرنر | فتح الله الشيخ |
| ٦٤٥- | السياسة الخارجية الأمريكية ومصادرها الداخلية | تشارلز كجلى ويوجين ويتكوف | عبد الوهاب علوب |
| ٦٤٦- | قصة الثورة الإيرانية | سيهر ذبيح | عبد الوهاب علوب |
| ٦٤٧- | رسائل من مصر | جون نينيه | فتحى العشرى |
| ٦٤٨- | بورخيس | بياتريث سارلو | خليل كلفت |
| ٦٤٩- | الخوف وقصص خرافية أخرى | نخبة | سحر يوسف |
| ٦٥٠- | الدولة والسلطة والسياسة فى الشرق الأوسط | روجر أوين | عبد الوهاب علوب |
| ٦٥١- | ديليسبس الذى لا نعرفه | وثائق قديمة | أمل الصبان |
| ٦٥٢- | آلهة مصر القديمة | كلود ترونكر | حسن نصر الدين |
| ٦٥٣- | مدرسة الطغاة | إيريش كستنر | سمير جريس |
| ٦٥٤- | أساطير شعبية من أوزبكستان (جـ١) | نصوص قديمة | عبد الرحمن الخميسى |
| ٦٥٥- | أساطير وآلهة | إيزابيل فرانكو | حليم طوسون ومحمود ماهر طه |
| ٦٥٦- | خبز الشعب والأرض الحمراء | ألفونسو ساسترى | ممدوح البستاوى |
| ٦٥٧- | محاكم التفتيش والموريسكيون | مرثيديس غارثيا- أرينال | خالد عباس |
| ٦٥٨- | حوارات مع خوان رامون خيمينيث | خوان رامون خيمينيث | صبرى التهامى |
| ٦٥٩- | قصائد من إسبانيا وأمريكا اللاتينية | نخبة | عبداللطيف عبدالحليم |
| ٦٦٠- | نافذة على أحدث العلوم | ريتشارد فايفيلد | هاشم أحمد محمد |
| ٦٦١- | روائع أندلسية إسلامية | نخبة | صبرى التهامى |

| | | | |
|---|---|---|---|
| ٦٦٢- | رحلة إلى الجذور | داسو سالديبار | صبرى التهامى |
| ٦٦٣- | امرأة عادية | ليوسيل كليفتون | أحمد شافعى |
| ٦٦٤- | الرجل على الشاشة | ستيفن كوهان - إنا راى هارك | عصام زكريا |
| ٦٦٥- | عوالم أخرى | بول دافيز | هاشم أحمد محمد |
| ٦٦٦- | تطور الصورة الشعرية عند شكسبير | وولفجانج اتش كليمن | مدحت الجيار |
| ٦٦٧- | الأزمة القادمة لعلم الاجتماع الغربى | ألفن جولدنر | على ليلة |
| ٦٦٨- | ثقافات العولمة | فريدريك جيمسون - ماساو ميوشى | ليلى الجبالى |
| ٦٦٩- | ثلاث مسرحيات | وول شوينكا | نسيم مجلى |
| ٦٧٠- | أشعار جوستاف أدولفو | جوستاف أدولفو | ماهر البطوطى |
| ٦٧١- | قل لى كم مضى على رحيل القطار؟ | جيمس بولدوين | على عبدالأمير صالح |
| ٦٧٢- | مختارات قصائد فرنسية للأطفال | نخبة | إبتهال سالم |
| ٦٧٣- | ضرب الكليم | محمد إقبال | جلال السعيد الحفناوى |
| ٦٧٤- | ديوان الإمام الخمينى | آية الله العظمى الخمينى | محمد علاء الدين منصور |
| ٦٧٥- | أثينا السوداء (جـ٢، مج١) | مارتن برنال | بإشراف: محمود إبراهيم السعدنى |
| ٦٧٦- | أثينا السوداء (جـ٢، مج٢) | مارتن برنال | بإشراف: محمود إبراهيم السعدنى |
| ٦٧٧- | تاريخ الأدب فى إيران (جـ١ ، مج١) | إدوارد جرانفيل براون | أحمد كمال الدين حلمى |
| ٦٧٨- | تاريخ الأدب فى إيران (جـ٢ ، مج٢) | إدوارد جرانفيل براون | أحمد كمال الدين حلمى |
| ٦٧٩- | مختارات شعرية مترجمة (جـ٣) | ويليام شكسبير | توفيق على منصور |
| ٦٨٠- | سنوات الطفولة | وول سوينكا | سمير عبد ربه |
| ٦٨١- | هل يوجد نص فى هذا الفصل؟ | ستانلى فش | أحمد الشيمى |
| ٦٨٢- | نجوم حظر التجول الجديد | بن أوكرى | صبرى محمد حسن |
| ٦٨٣- | سكين واحد لكل رجل | تى. م. ألوكو | صبرى محمد حسن |
| ٦٨٤- | الأعمال القصصية (جـ١) | أوراثيو كيروجا | رزق أحمد بهنسى |
| ٦٨٥- | الأعمال القصصية (جـ٢) | أوراثيو كيروجا | رزق أحمد بهنسى |
| ٦٨٦- | امرأة محاربة | ماكسين هونج كنجستون | سحر توفيق |
| ٦٨٧- | محبوبة | فتانة حاج سيد جوادى | ماجدة العنانى |
| ٦٨٨- | الانفجارات الثلاثة الكبرى | فيليب م. دوبر وريتشارد أ. موار | فتح الله الشيخ وأحمد السماحى |
| ٦٨٩- | الملف | تادووش روجيفيتش | هناء عبد الفتاح |
| ٦٩٠- | محاكم التفتيش فى فرنسا | چوزيف ر. ستراير | رمسيس عوض |
| ٦٩١- | ألبرت أينشتين: حياته وغرامياته | دنيس براين | رمسيس عوض |
| ٦٩٢- | الوجودية | ريتشارد أبيجانسى وأوسكار زاريت | حمدى الجابرى |
| ٦٩٣- | القتل الجماعى: المحرقة | حائيم برشيت وآخران | جمال الجزيرى |
| ٦٩٤- | دريدا | جيف كولينز وبيل مايبلين | حمدى الجابرى |
| ٦٩٥- | رسل | ديف روبنسون وجودى جروف | إمام عبدالفتاح إمام |
| ٦٩٦- | روسو | ديف روبنسون وأوسكار زاريت | إمام عبدالفتاح إمام |
| ٦٩٧- | أرسطو | روبرت ودفين وجودى جروفس | إمام عبدالفتاح إمام |
| ٦٩٨- | عصر التنوير | ليود سبنسر وأندرزيجى كروز | إمام عبدالفتاح إمام |
| ٦٩٩- | التحليل النفسى | إيفان وارد وأوسكار زاراتى | جمال الجزيرى |
| ٧٠٠- | حقيقة كاتب | ماريو فرجاش | بسمة عبدالرحمن |

| | | | |
|---|---|---|---|
| ٧٠١- | الذاكرة والحداثة | وليم رود فيفيان | منى البرنس |
| ٧٠٢- | الأمثال الفارسية | أحمد وكيليان | محمود علاوى |
| ٧٠٣- | تاريخ الأدب فى إيران (جـ٢) | إدوارد جرانفيل براون | أمين الشواربى |
| ٧٠٤- | فيه ما فيه | مولانا جلال الدين الرومى | محمد علاء الدين منصور وآخران |
| ٧٠٥- | فضل الأنام من رسائل حجة الإسلام | الإمام الغزالى | عبدالحميد مدكور |
| ٧٠٦- | الشفرة الوراثية وكتاب التحولات | جونسون ف. يان | عزت عامر |
| ٧٠٧- | ڤالتر بنيامين | نخبة | وفاء عبدالقادر |
| ٧٠٨- | فراعنة من؟ | دونالد مالكولم ريد | رءوف عباس |
| ٧٠٩- | معنى الحياة | ألفريد أدلر | عادل نجيب بشرى |
| ٧١٠- | الأطفال: التكنولوجيا والثقافة | يان هاتشباى وجوموران - إليس | دعاء محمد الخطيب |
| ٧١١- | درة التاج | ميرزا محمد هادى رسوا | هناء عبد الفتاح |
| ٧١٢- | الإلياذة (جـ١) | هوميروس | سليمان البستانى |
| ٧١٣- | الإلياذة (جـ٢) | هوميروس | سليمان البستانى |
| ٧١٤- | حديث القلوب | لامنيه | حنا صاوه |
| ٧١٥- | جامعة كل المعارف (جـ١) | مجموعة من المؤلفين | نخبة من المترجمين |
| ٧١٦- | جامعة كل المعارف (جـ٢) | مجموعة من المؤلفين | نخبة من المترجمين |
| ٧١٧- | جامعة كل المعارف (جـ٣) | مجموعة من المؤلفين | نخبة من المترجمين |
| ٧١٨- | جامعة كل المعارف (جـ٤) | مجموعة من المؤلفين | نخبة من المترجمين |
| ٧١٩- | جامعة كل المعارف (جـ٥) | مجموعة من المؤلفين | نخبة من المترجمين |
| ٧٢٠- | جامعة كل المعارف (جـ٦) | مجموعة من المؤلفين | نخبة من المترجمين |
| ٧٢١- | فلسفة المتكلمين فى الإسلام (مج١) | هارى أ. ولفسون | مصطفى لبيب عبد الغنى |
| ٧٢٢- | الصفيحة وقصص أخرى | بشار كمال | الصفصافى أحمد القطورى |
| ٧٢٣- | تحديات ما بعد الصهيونية | إفرايم نيمنى | أحمد ثابت |
| ٧٢٤- | اليسار الفرويدى | بول روبنسون | عبده الريس |
| ٧٢٥- | الاضطراب النفسى | جون فيتكس | مى مقلد |
| ٧٢٦- | الموريسكيون فى الغرب | غييرمو غوثالبيس بوستو | مروة محمد إبراهيم |
| ٧٢٧- | حلم البحر | باچين | وحيد السعيد |
| ٧٢٨- | العولمة: تدمير العمالة والنمو | موريس آليه | أميرة جمعة |
| ٧٢٩- | الثورة الإسلامية فى إيران | صادق زيباكلام | هويدا عزت |
| ٧٣٠- | حكايات من السهول الأفريقية | آن جاتى | عزت عامر |
| ٧٣١- | النوع: الذكر والأنثى بين التميز والاختلاف | نخبة | محمد قدرى عمارة |
| ٧٣٢- | قصص بسيطة | إنجو شولتسه | سمير جريس |
| ٧٣٣- | مأساة عطيل | وليم شيكسبير | محمد مصطفى بدوى |
| ٧٣٤- | بونابرت فى الشرق الإسلامى | أحمد يوسف | أمل الصبان |
| ٧٣٥- | فن السيرة فى العربية | مايكل كوبرسون | محمود محمد مكى |
| ٧٣٦- | التاريخ الشعبى للولايات المتحدة (جـ١) | هوارد زن | شعبان مكاوى |
| ٧٣٧- | الكوارث الطبيعية (جـ٢) | باتريك ل. أبوت | توفيق على منصور |
| ٧٣٨- | دمشق من عصر ما قبل التاريخ إلى الدولة المملوكية (جـ١) | جيرار دى جورج | محمد عواد |
| ٧٣٩- | دمشق من الإمبراطورية العثمانية حتى الوقت الحاضر (جـ٢) | جيرار دى جورج | محمد عواد |

| | | |
|---|---|---|
| ٧٤٠- خطابات القوة | بارى هندس | مرفت ياقوت |
| ٧٤١- الإسلام وأزمة العصر | برنارد لويس | أحمد هيكل |
| ٧٤٢- أرض حارة | خوسيه لاكوادرا | رزق بهنسى |
| ٧٤٣- الثقافة منظور داروينى | روبرت أونجر | شوقى جلال |
| ٧٤٤- ديوان الأسرار والرموز | محمد إقبال | سمير عبد الحميد |
| ٧٤٥- المآثر السلطانية | بيك الدنبلى | محمد أبو زيد |
| ٧٤٦- تاريخ التحليل الاقتصادى (مج١) | جوزيف . أ. شومبيتر | حسن النعيمى |
| ٧٤٧- المجاز فى لغة السينما | تريفور وايتوك | إيمان عبد العزيز |
| ٧٤٨- تدمير النظام العالمى | فرانسيس بويل | سمير كريم |
| ٧٤٩- أيكولوجيا لغات العالم | ل.ج. كالفيه | باتسى جمال الدين |
| ٧٥٠- الإلياذة | هوميروس | أحمد عتمان |
| ٧٥١- الإسراء والمعراج فى تراث الشعر الفارسى | نخبة | علاء السباعى |
| ٧٥٢- ألمانيا بين عقدتى الذنب والخوف | جمال قارصلى | نمر عاروري |
| ٧٥٣- التنمية والقيم | إسماعيل سراج الدين وآخرون | محسن يوسف |
| ٧٥٤- الشرق والغرب | أنًا مارى شيمل | عبدالسلام حيدر |
| ٧٥٥- تاريخ الشعر الإسبانى خلال القرن العشرين | أندروب دبيكى | على إبراهيم منوفى |
| ٧٥٦- ذات العيون الساحرة | إنريكى خارديل بونثيلا | خالد محمد عباس |
| ٧٥٧- تجارة مكة | باتريشيا كرون | آمال الروبى |
| ٧٥٨- الإحساس بالعولمة | بروس روبنز | عاطف عبدالحميد |
| ٧٥٩- النثر الأردى | مولوى سيد محمد | جلال السعيد الحفناوى |
| ٧٦٠- الدين والتصور الشعبى للكون | السيد الأسود | السيد الأسود |
| ٧٦١- جيوب مثقلة بالحجارة | فيرجينيا وولف | فاطمة ناعوت |
| ٧٦٢- المسلم عدوًا و صديقًا | ماريا سوليداد | عبدالعال صالح |
| ٧٦٣- الحياة فى مصر | أنريكو بيا | نجوى عمر |
| ٧٦٤- ديوان غالب الدهلوى (شعر غزل) | غالب الدهلوى | حازم محفوظ |
| ٧٦٥- ديوان خواجة الدهلوى (شعر تصوف) | خواجة الدهلوى | حازم محفوظ |
| ٧٦٦- الشرق المتخيل | تييرى هنتش | غازى برو وخليل أحمد خليل |
| ٧٦٧- الغرب المتخيل | نسيب سمير الحسينى | غازى برو |
| ٧٦٨- حوار الثقافات | محمود فهمى حجازى | محمود فهمى حجازى |
| ٧٦٩- أدباء أحياء | فريدريك هتمان | رندا النشار وضياء زاهر |
| ٧٧٠- السيدة بيرفيكتا | بينيتو بيريث جالدوس | صبرى التهامى |
| ٧٧١- السيد سيجوندو سومبرا | ريكاردو جويرالديس | صبرى التهامى |
| ٧٧٢- برخت ما بعد الحداثة | إليزابيث رايت | محسن مصيلحى |
| ٧٧٣- دائرة المعارف الدولية ج٢ | جون فيزر وبول ستيرجز | محمد فتحى عبدالهادى |
| ٧٧٤- الديموقراطية الأمريكية.. التاريخ والمرتكزات | نخبة | حسن عبد ربه المصرى |
| ٧٧٥- مرآة العروس | نذير أحمد الدهلوى | جلال الحفناوى |
| ٧٧٦- منظومة مصيبت نامه (مج١) | فريد الدين العطار | محمد محمد يونس |
| ٧٧٧- الانفجار الأعظم | جيمس إ. ليدسى | عزت عامر |